



ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL



# DIRECTIVES TECHNIQUES

SUR LA GESTION DES DÉCHETS  
PLASTIQUES EN CÔTE D'IVOIRE



**unitar**  
United Nations Institute for Training and Research





« Gestion rationnelle des polluants organiques persistants (POP) non intentionnels et des diphenyles éthers polybromés (PBDE) pour réduire leurs émissions du secteur des déchets industriels », GEFg263 ONU DI 150266



# DIRECTIVES TECHNIQUES

## SUR LA GESTION DES DÉCHETS PLASTIQUES EN CÔTE D'IVOIRE



# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>3</b>
<b>Listes des figures</b>	<b>6</b>
<b>Listes des tableaux</b>	<b>8</b>
<b>Abréviations</b>	<b>9</b>
<b>Définitions</b>	<b>12</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>14</b>
1.1 <i>Contexte du projet</i>	14
1.2 <i>Objectifs et contenu</i>	17
<b>2. Aspects sociaux de la gestion des déchets plastiques</b>	<b>18</b>
2.1 <i>Marginalisation et collecte informelle</i>	19
2.2 <i>Rôle des femmes dans la minimisation de l'utilisation du plastique et dans la gestion des déchets plastiques</i>	21
<b>3. Caractéristiques des plastiques et de leurs déchets</b>	<b>25</b>
3.1 <i>Catégories de polymères plastiques</i>	25
3.2 <i>Additifs</i>	31
3.3 <i>Polymères recyclables et non recyclables</i>	35
3.4 <i>Source de déchets plastiques</i>	39
3.5 <i>Plastique et POP</i>	40
3.6 <i>Micro plastique et pollution marine</i>	41
<b>4. Aspects réglementaires de la gestion des déchets plastiques</b>	<b>45</b>
4.1 <i>Classification des déchets plastiques dans la Convention de Bâle</i>	45
4.2 <i>Système Harmonisé (SH codes)</i>	48
4.3 <i>Classification de l'Union européenne</i>	48
<b>5. Gestion écologiquement rationnelle des déchets plastiques</b>	<b>51</b>
5.1 <i>Options de valorisation des déchets plastiques</i>	51
5.1.1 <i>Recyclage mécanique</i>	51

5.1.2	<i>Recyclage chimique</i>	52
5.1.3	<i>Valorisation énergétique</i>	53
5.2	<i>MTD/MPE dans la collecte, le transport, le stockage et la manutention</i>	53
5.2.1	<i>Collecte</i>	54
5.2.2	<i>Transport</i>	55
5.2.3	<i>Stockage</i>	55
5.2.4	<i>Manutention</i>	56
5.3	<i>Méthodes analytiques pour caractériser les matières plastiques et leurs contaminants</i>	57
5.3.1	<i>Inspection visuelle / marquage ISO</i>	60
5.3.2	<i>Combinaison tests des propriétés physiques et tests évier-flotteur en eau douce et eau salée</i>	62
5.3.3	<i>Spectrométrie à étincelles glissantes</i>	66
5.3.4	<i>Spectrométrie de fluorescence des rayons X</i>	66
5.3.5	<i>Spectroscopie de plasma induite par laser</i>	67
5.3.6	<i>Transmission par rayons X</i>	67
5.3.7	<i>Évier-flotteur</i>	67
5.3.8	<i>Identification et tri semi-automatisé par électrostatique</i>	70
5.3.9	<i>Identification et tri entièrement automatisés</i>	70
5.3.10	<i>Approche conservatrice</i>	71
5.4	<i>MTD/MPE pour le traitement du plastique</i>	71
5.4.1	<i>Installation de traitement des déchets plastiques</i>	71
5.4.2	<i>Équipement de protection individuelle</i>	74
5.4.3	<i>Processus de traitement du plastique</i>	76
5.5	<i>MTD/MPE pour l'élimination du plastique non recyclable</i>	79
5.5.1	<i>Plastiques non dangereux</i>	79
5.5.2	<i>Plastiques dangereux</i>	81
5.6	<i>Produits issus du recyclage du plastique</i>	85
5.6.1	<i>Types de fractions issues du recyclage du plastique</i>	85

5.6.2	<i>Potentiels débouchés des plastiques recyclés</i>	86
5.7	<i>Exemples réussis de recyclage du plastique</i>	89
5.7.1	<i>Amélioration de la collecte</i>	89
5.7.2	<i>Recyclage du plastique en boucle ouverte</i>	91
5.7.3	<i>Responsabilité élargie du producteur</i>	94
<b>6.</b>	<b>Considérations économiques du recyclage du plastique</b>	<b>96</b>
6.1	<i>Prix du marché des plastiques vierges et recyclés et leur relation avec le prix du pétrole</i>	96
6.2	<i>Coûts de la gestion des déchets plastiques</i>	98
6.2.1	<i>Dépenses</i>	99
6.2.2	<i>Recettes</i>	103
6.3	<i>Le rôle du transport dans l'économie des déchets plastiques</i>	104
6.3.1	<i>Coûts de transport</i>	104
6.3.2	<i>Législation</i>	105
6.4	<i>Système de financement du traitement des plastiques</i>	105
	<b>Bibliographie</b>	<b>107</b>
	<i>Annexe 1 – Classification des matières plastiques thermoplastiques et thermodurcissables</i>	118
	<i>Annexe 2 – POP associés par types de plastiques et principaux secteurs contributeurs</i>	119
	<i>Annexe 3 – Techniques de séparation et d'identification des plastiques</i>	121
	<i>Annexe 4 – Recyclage mécanique du plastique</i>	124

## Listes des figures

Figure 1 - Chaîne de valeur des déchets plastiques à Abidjan, Côte d'Ivoire	19
Figure 2 - Rôle des femmes dans le processus de gestion du plastique	21
Figure 3 - Stock de déchets plastiques appartenant aux femmes	22
Figure 4 - Collecte de déchets plastiques	22
Figure 5 - Manipulation des déchets dans une entreprise industrielle	22
Figure 6 - Lavage du plastique par les femmes	23
Figure 7 - Tri du stock de plastique par les femmes	23
Figure 8 - Découpage du plastique	24
Figure 9 - Broyage du plastique	24
Figure 10 - Une femme manipulant un appareil de moulage	24
Figure 11 - Une femmes faisant le colisage de sachets	24
Figure 12 - Répartition de la production de déchets plastiques dans le monde en 2018, par secteur	39
Figure 13 - Voies et impact général des microplastiques sur l'écosystème et les organismes marins	43
Figure 14 - Impacts et effets combinés des microplastiques et des polluants sur les organismes marins	43
Figure 15 - Résumé des amendements déchets plastiques à la Convention de Bâle	48
Figure 16 - Options de valorisation des déchets plastiques	51
Figure 17 - Chaîne de valeur du plastique par recyclage mécanique	52
Figure 18 - Marche à suivre pour le tri des plastiques	58
Figure 19 - Identification systématique des plastiques	65
Figure 20 - Plages de densité de plastiques sélectionnés	68
Figure 21 - Hydromètre	69
Figure 22 - Applications pratiques des tests évier/flotteur pour le tri des plastiques	69
Figure 23 - Séparation du plastique par électrostatique	70
Figure 24 - Processus de recyclage mécanique du plastique	76
Figure 25 - Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions de plastiques non-dangereuses	80

<b>Figure 26</b> - Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions de plastiques dangereuses	82
<b>Figure 27</b> - L'application COLIBA	90
<b>Figure 28</b> - Une femme recyclant du plastique	90
<b>Figure 29</b> - L'équipe PLASTOCK	90
<b>Figure 30</b> - Boite de collecte des bouteilles plastiques	91
<b>Figure 31</b> - Ecoles fabriquées en briques plastiques	91
<b>Figure 32</b> - Une maison construite en PET recyclé	92
<b>Figure 33</b> - Articles de jardinage en plastique recyclé	92
<b>Figure 34</b> - Collecte de filets de pêches usés	92
<b>Figure 35</b> - Chaussures en plastique recyclé	93
<b>Figure 36</b> - Usine de recyclage des pneus usagés	93
<b>Figure 37</b> - Poudre de caoutchouc recyclé	93
<b>Figure 38</b> - Usine de recyclage du PET	94
<b>Figure 39</b> - Installation CASH IT!	95
<b>Figure 40</b> - Comparaison des prix de plastique PEBD, PEHD, PP vierges et recyclés	97
<b>Figure 41</b> - Classification des matières plastiques thermoplastiques et thermodurcissables	118
<b>Figure 42</b> - Traitement spécifique des résines plastiques en mélange par recyclage mécanique	125

## Listes des tableaux

<b>Tableau 1</b> - <i>Classification propriété, utilisation et dangerosité des principaux plastiques</i>	<b>30</b>
<b>Tableau 2</b> - <i>Recyclabilité des différents plastiques</i>	<b>37</b>
<b>Tableau 3</b> - <i>Classification des plastiques dans la Convention de Bâle</i>	<b>47</b>
<b>Tableau 4</b> - <i>Classification des plastiques dans le catalogue européen des déchets</i>	<b>50</b>
<b>Tableau 5</b> - <i>Comparaison de la collecte par apport volontaire et de la collecte en porte-à-porte</i>	<b>54</b>
<b>Tableau 6</b> - <i>Dégradation des polymères à l'exposition aux ultraviolets solaires</i>	<b>56</b>
<b>Tableau 7</b> - <i>Méthodes d'identification et de séparation des plastiques RFB</i>	<b>60</b>
<b>Tableau 8</b> - <i>Codes ISO 1043 pour les retardateurs de flamme couramment utilisés</i>	<b>62</b>
<b>Tableau 9</b> - <i>Potentiels clients par types de fractions issus du recyclage du plastique</i>	<b>86</b>
<b>Tableau 10</b> - <i>Débouchés possibles des différents plastiques recyclés</i>	<b>87</b>
<b>Tableau 11</b> - <i>Utilisation du plastique DEEE recyclé dans différents secteurs</i>	<b>89</b>
<b>Tableau 12</b> - <i>Vue d'ensemble des dépenses et recettes de la gestion des déchets plastiques par acteur de la chaîne de valeur</i>	<b>99</b>
<b>Tableau 13</b> - <i>Estimation des coûts de gestion et traitement des déchets dans des villes en développement</i>	<b>102</b>
<b>Tableau 14</b> - <i>POP associés à différents types de plastiques et principaux secteurs contributeurs</i>	<b>120</b>
<b>Tableau 15</b> - <i>Description des techniques de séparation et d'identification des plastiques</i>	<b>123</b>



## Abréviations

<b>ABS</b>	Acrylonitrile butadiène styrène
<b>AIVP</b>	Association Ivoirienne de Valorisation des déchets Plastiques
<b>ANAGED</b>	Agence Nationale de Gestion des Déchets
<b>ANASUR</b>	Agence Nationale de Salubrité Urbaine
<b>COP</b>	Conférence des Parties de la Convention de Bâle (de l'anglais Conference of the Parties)
<b>DEEE</b>	Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques
<b>EEE</b>	Equipements Électriques et Électroniques
<b>EHS</b>	Environnement, Hygiène, Sécurité
<b>EMPA</b>	Laboratoires fédéraux suisses pour la science et la technologie des matériaux
<b>EPI</b>	Equipement de Protection Individuelle
<b>FCFA</b>	Francs de la Communauté financière africaine
<b>FEM</b>	Fonds pour l'Environnement Mondial
<b>GRIFE</b>	Ghana Recycling Initiative by Private Enterprises
<b>HBB</b>	Hexabromobiphényle
<b>HBCDD</b>	Hexabromocyclododécane
<b>HIPS</b>	Polystyrène choc (de l'anglais High impact polystyrene)
<b>ISO</b>	Organisation Internationale de Normalisation / International Organization for Standardization
<b>LIBS</b>	Spectroscopie de plasma induit par laser (de l'anglais Laser Induced Breakdown Spectroscopy)
<b>MPE</b>	Meilleures Pratiques Environnementales
<b>MTD</b>	Meilleures Techniques Disponibles
<b>OCP</b>	Pesticides organochlorés (de l'anglais organochlorine pesticides)
<b>OctaBDE</b>	Octabromodiphényl éther
<b>ONUDI</b>	Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
<b>PBDE</b>	Polybromodiphényléthers

<b>PC</b>	Polycarbonate
<b>PCB</b>	Polychlorobiphényle
<b>PCDD/PCDF</b>	Polychlorodibenzo-p-dioxines/Polychlorodibenzo-furanes
<b>p. ex.</b>	Par exemple
<b>PEBD/LDPE</b>	Polyéthylène basse densité (en anglais Low-Density Polyethylene)
<b>PEHD/HDPE</b>	Polyéthylène haute densité (en anglais High Density Polyethylene)
<b>PentaBDE</b>	Pentabromodiphényl éther
<b>PET/PETE</b>	Polyéthylène téréphtalate (en anglais Polyethylene Terephthalate)
<b>PFAS/PFOS</b>	Substances per- et polyfluoroalkylées (de l'anglais polyfluorinated alkyl substances)
<b>PIC</b>	Procédure de consentement préalable en connaissance de cause de la Convention de Bâle (de l'anglais Prior Informed Consent)
<b>POP</b>	Polluants organiques persistants
<b>POPNI</b>	Polluants organiques persistants non intentionnels
<b>PP/PPi</b>	Polypropylène (en anglais Polypropylene)
<b>ppm</b>	Partie par million (1% = 10'000 ppm)
<b>PPP</b>	Partenariat public privé
<b>PS</b>	Polystyrène (en anglais Polystyrene)
<b>PTFE</b>	Polytétrafluoroéthylène (en anglais Polytetrafluoroethylene)
<b>PUR</b>	Polyuréthane
<b>PVC</b>	Polychlorure de vinyle (en anglais Polyvinyl Chloride)
<b>REP</b>	Responsabilité élargie du producteur
<b>RFB/BRF</b>	Retardateurs de flamme bromés (de l'anglais Brominated Flame Retardant)
<b>SCCP</b>	Paraffines chlorées à chaîne courte
<b>SH</b>	Système Harmonisé de désignation et de codification des marchandises, ou Système harmonisé (en anglais Harmonized System – HS)
<b>SMIG</b>	Salaire minimum interprofessionnel garanti
<b>SPI</b>	Society of the Plastics Industry
<b>SSS</b>	Spectrométrie à étincelles glissantes (de l'anglais Sliding-Spark Spectrometry)

<b>UICN</b>	Union internationale pour la conservation de la nature
<b>UNICEF</b>	Fonds des Nations Unies pour l'enfance (en anglais United Nations Children's Fund)
<b>UNITAR</b>	Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche (en anglais United Nations Institute for Training and Research)
<b>USD</b>	Dollar américain
<b>VFV</b>	Véhicules en Fin de Vie
<b>WCO</b>	Organisation mondiale des douanes (de l'anglais World Customs Organization)
<b>XRF</b>	Spectrométrie de fluorescence des rayons X (de l'anglais X-ray fluorescence)

## Définitions

**Additif** : une substance ajoutée volontairement à une matière plastique afin d'obtenir un effet physique ou chimique lors de la transformation de la matière plastique ou de modifier les caractéristiques physiques ou chimiques du matériau ou de l'objet final, et qui est destinée à être présente dans le matériau ou l'objet final (Commission Européenne, 2011).

**Compoundage** : processus permettant d'ajouter des matériaux supplémentaires dans une base de plastique fondu pour produire un matériau avec les qualités souhaitées (Spiegato, 2022).

**Déchet ultime** : déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux (article L 541-1 du Code de l'Environnement français).

**Décyclage** : de l'anglais « downcycling », est la transformation d'un déchet ou d'un objet inutilisable en un nouveau matériau ou produit de qualité ou valeur inférieure.

**Extrusion (régénération, granulation)** : étape de valorisation du plastique qui permet aux recycleurs de produire des granulés de plastique recyclés haut-de-gamme. Longuement traitée, purifiée, homogénéisée, et prête à être mêlée à des granulés de plastique vierge ou employée telle-quelle, cette matière première secondaire (ou compound) offre le plus haut degré de qualité envisageable (Paprec, 2020)

**Meilleures pratiques environnementales (MPE)** : désigne l'application de la combinaison la plus appropriée de mesures et de stratégies de lutte antipollution (UNEP, 2012, Protocol Additionnel). La MPE constitue une série d'habitudes individuelles ou collectives qui, exercées par chacune des personnes qui forment une organisation, permettent la gestion correcte de l'environnement. La MPE permet à l'industrie de tendre vers la durabilité à l'échelle mondiale et contribue ainsi à la durabilité de l'entreprise elle-même (CAR/PP, 2004).

**Meilleures techniques disponibles (MTD)** : désigne la version la plus évoluée d'un procédé, d'une installation ou d'un mode opératoire du point de vue de son aptitude pratique à limiter les rejets, émissions et déchets. À cet égard, le terme « technique » englobe non seulement la technologie utilisée, mais aussi les méthodes de conception, de construction, d'entretien, d'exploitation et de démontage de l'installation (UNEP, 2012, Protocol Additionnel).

**Plastique technique** : désigne des polymères dont les caractéristiques mécaniques et thermiques se prêtent à des applications de haute performance (Larousse, n.d.).

**Polymères** : terme utilisé en sciences des matériaux pour décrire le plastique. Le plastique est constitué de longues chaînes ("poly" = plusieurs) de monomères qui sont chimiquement liés les uns aux autres (GIZ, 2021).

**Responsabilité élargie du producteur (REP)** : la REP a pour but de rendre le producteur initial du produit responsable de financer ou d'organiser la prévention et la gestion des déchets issus de ces produits en fin de vie, ce qui l'incite à l'éco-conception de son produit pour réduire ces coûts (Ministère de la Transition écologique français, 2022). Pour plus d'information, se référer à (ONU, 2021).

**Thermodurcissable** : composés qui, au moment de la polycondensation (et/ou de la mise en œuvre), sous l'action du catalyseur ou de la hausse de température, voit leurs résines se transformer en objets finis infusibles et insolubles (Paprec, 2020).

**Thermoplastique** : composés dont la structure et la viscosité peuvent être modifiés par chauffage et refroidissement successifs, de façon réversible (Paprec, 2020).

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte du projet

Le plastique est un matériau très polyvalent qui, en raison de ses caractéristiques techniques (souplesse, solidité, durabilité, légèreté, résistance aux agents chimiques et aux changements de température, etc.) et de son coût de production réduit est utilisé dans de multiples secteurs et applications industrielles. Le plastique se retrouve dans toutes sortes de biens et produits, y compris les emballages, les textiles synthétiques et vêtements finis, les matériaux de construction et machines industrielles, les équipements électriques et électroniques (EEE), les produits de beauté et de consommation domestique, les peintures, les revêtements et marquages, ou encore les pièces automobiles (Barrowclough et al., 2020). Entre 1950 et 2017, il est estimé que 9,2 milliards de tonnes de plastique ont été produites dans le monde (Atlas du plastique, 2020 ; Geyer et al., 2017), mais c'est surtout à partir des années 2000 que la production s'est amplifiée, avec plus de plastique produit en 20 ans que durant les cinquante années précédentes. Actuellement, plus de 450 millions de tonnes de plastique sont produites dans le monde chaque année (OECD, 2022), environ 40% des produits en plastique sont jetés au bout de moins d'un mois d'utilisation (Jacque, 2020) et plus de 40% du plastique n'est utilisé qu'une seule fois avant d'être jeté (National geographic, n.d.). En conséquence, les quantités de déchets plastique produites ne cessent d'augmenter à l'échelle mondiale, entraînant des risques pour la santé et l'environnement. Chaque année, plus de 350 millions de tonnes de déchets plastiques sont produits dans le monde, dont près des deux tiers proviennent de produits plastiques dont la durée de vie est inférieure à cinq ans (OECD, 2022). Sur les 6,3 milliards de tonnes de déchets plastiques produites entre 1950 et 2017, seuls 9% ont été recyclés, 12% ont été incinérés et 79% ont été accumulés dans des décharges ou dans la nature (Atlas du plastique, 2020 ; Geyer et al., 2017).

Ces flux de déchets à croissance rapide représentent une menace sanitaire s'ils ne sont pas traités correctement. En effet, la majorité des plastiques sont non-biodégradable et peuvent mettre plus de 400 ans à se décomposer en microparticules de plastique, appelées microplastiques. En conséquence, ils s'accumulent dans tous types d'environnement, y compris les rues, les terres agricoles, les rivières, mers et océans et s'infiltrant dans la chaîne alimentaire (Appia, 2020 ; Combe, 2019).

Les plastiques contiennent un ensemble d'additifs potentiellement dangereux, tels que des retardateurs de flamme, les produits chimiques perfluorés, les phtalates, les bisphénols, les nonylphénols et des métaux lourds, dont certains de ces additifs sont des polluants organiques persistants (POP) identifiés par la Convention de Stockholm. Outre les problèmes d'exposition humaine et de contamination de l'environnement, le recyclage et/ou l'élimination de ces flux de déchets posent des problèmes de sécurité des travailleurs.

D'un autre côté, la gestion des déchets représente une opportunité économique et environnementale à travers la récupération de matériaux de valeur (y compris le plastique) permettant d'éviter le

gaspillage de ressources naturelles et d'énergie, de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières, et de diminuer les impacts environnementaux. En effet, la gestion et le recyclage des déchets emploient entre 19 et 24 millions de femmes et d'hommes dans le monde, dont quatre millions travaillent dans le secteur formel du traitement des déchets et du recyclage (ILO, 2019).

La gestion des déchets plastiques est un défi dans de nombreux pays en développement, y compris en Côte d'Ivoire. Selon le Ministère de l'Assainissement et de la Salubrité ivoirien, le pays produit 12 000 tonnes de déchets solides ménagers et assimilés par jour (soit une production annuelle de 4,38 millions de tonnes), dont 4 500 tonnes dans le seul district d'Abidjan (soit 1,64 millions de tonnes par an). À cela viennent s'ajouter d'autres types de déchets, notamment les déchets sanitaires, les déchets agricoles et les déchets industriels (Ministère de l'Assainissement et de la Salubrité, 2022). Environ 49% du flux de déchets sont constitués de matériaux biodégradables, 21% sont des déchets non organiques tels que le plastique, le papier, le métal, le verre et les textiles, et les 30% restants sont constitués de substances inertes et non biodégradables (p.ex., du sable). Malgré les efforts du gouvernement, seulement 50% des déchets sont collectés et éliminés régulièrement des industries et des ménages. Les 50% restants sont déversés dans des zones naturelles ouvertes ou dans des zones de drainage, ce qui peut entraîner des inondations et menacer l'environnement et la santé humaine. Une quantité importante de déchets est brûlée, ce qui aggrave la qualité de l'air et entraîne la libération non intentionnelle de POP (Zakarya et Touré, 2018).

En 2014, le Gouvernement estimait que la Côte d'Ivoire produisait annuellement plus de 40 000 tonnes de déchets plastiques, dont plus de 50% étaient jetés dans les rues et dépôts sauvages et seulement 20% étaient triés et recyclés (Gouvernement de Côte d'Ivoire, 2014). Ce chiffre pourrait atteindre 500 000 tonnes en 2025, selon les prédictions de Jambeck et.al. (2018). En 2019, l'UNICEF estimait que 288 tonnes de déchets plastiques étaient produites chaque jour dans le district d'Abidjan (soit plus de 100,000 tonnes par an), dont seulement 5% étaient recyclés (UNICEF, 2019a)<sup>1</sup>.

Afin de réduire les quantités de déchets plastiques présents sur le sol ivoirien, le gouvernement a interdit la production, l'importation, la détention, la commercialisation et l'usage des sachets plastiques, par décret n° 2013-327 du 22 Mai 2013 (Présidence de la République de Côte d'Ivoire, 2013) prévoyant jusqu'à 6 mois d'emprisonnement et 1 million de FCFA d'amende en cas de violation. En pratique l'application de cette interdiction s'avère difficile, voire impossible car l'usage de ces sacs est ancré dans les habitudes de la population et leur niveau de sensibilisation à la problématique environnementale est faible. De plus, il existe peu d'alternatives pratiques et à coût équivalent d'emballages plus écologiques en Côte d'Ivoire. On assiste par ailleurs à une prolifération de sachets étiquetés biodégradables, mais qui ne le sont pas (Diabate et Achimi, 2020).

---

<sup>1</sup> UNITAR SCYCLE, en collaboration avec le Secrétariat de la Convention de Bâle, a produit des directives et une méthodologie pour aider les pays à développer un inventaire des déchets plastiques au niveau national. Les directives permettent de déterminer les quantités de déchets plastiques post-consommation provenant de différents secteurs (emballage, transport, bâtiment et construction, équipement électronique et électrique, consommation et institutionnel, machinerie industrielle, textile et autres). <https://www.scycle.info/>

Les déchets plastiques peuvent également provenir de déchets industriels, tels que les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) et les véhicules en fin de vie (VFV). Les DEEE contiennent en moyenne environ 20% de plastique (Ecologic, n.d. ; Ademe, 2019), même si les compositions varient énormément d'un équipement à l'autre, et les VFV en contiennent entre 4 et 8% (Indra, 2019 ; Rovinaru et. al., 2019). Ces plastiques issus des DEEE et VFV peuvent contenir des substances dangereuses, tels que des polybromodiphényléthers (PBDE), utilisés comme retardateur de flamme et classés comme substances POP au titre de la Convention de Stockholm. Les retardateurs de flamme bromé dans les plastiques peuvent également générer des polluants organiques persistants non-intentionnel (POPNI) (tels que les - polychlorodibenzo-p-dioxine et furane (PCDD/PCDF)) lors de la combustion ouverte de câbles ou autres pièces en plastique (voir les *Directives techniques sur la gestion écologiquement rationnelle des DEEE et VFV en Côte d'Ivoire* pour plus d'information).

Selon un rapport de l'ONUDI de 2022, la Côte d'Ivoire produit 69 000 tonnes de déchets VFV par an, l'équivalent de 2,7 kg par habitant par an. Par ailleurs, 21 600 tonnes de DEEE sont générées annuellement, soit l'équivalent de 0,82 kg par habitant par an (ONUDI, 2022). En 2018, Zakarya et Touré estimaient la quantité de déchets plastiques VFV accumulée depuis 1970 à 139 240 tonnes<sup>2</sup> et celle des plastiques DEEE à 27 300 tonnes<sup>3</sup>, soit un total de 166 540 tonnes de déchets plastiques susceptibles de contenir des PBDE (Zakarya et Touré, 2018).

Les conséquences négatives sur les écosystèmes et sur la santé humaine de ces rebuts, couplées à un manque d'infrastructures et de services de gestion et recyclage des plastiques rend indispensable la démonstration et la dissémination des bonnes pratiques en matière de gestion écologiquement rationnelle de ces déchets et de leurs polluants en Côte d'Ivoire.

Dans le cadre d'une coopération continue avec le Fonds pour l'Environnement mondial (FEM) l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) met en œuvre, en collaboration avec le gouvernement de Côte d'Ivoire, le projet financé par le FEM intitulé : « *Gestion rationnelle des polluants organiques persistants non intentionnels (POPNI) et des diphényles éthers polybromés (PBDE) pour réduire leurs émissions du secteur des déchets industriels (uPOPCI)* ». Le projet, tel qu'approuvé par le FEM le 4 octobre 2019, allie intérêt économique et intérêt environnemental. Il ambitionne de mettre en place un cadre réglementaire et institutionnel adapté à la gestion environnementale des déchets plastiques, des déchets d'équipements électriques et électroniques et des véhicules en fin de vie, de renforcer les capacités techniques des acteurs du secteur et de mettre à niveau la chaîne de valeur pour améliorer les opportunités économiques.

---

<sup>2</sup> Une partie difficilement quantifiable est supposée éliminée depuis 1970, par l'industrie de l'aciérie ou par l'utilisation du plastique comme combustible.

<sup>3</sup> Quantité obtenue en considérant 91 000 tonnes de CRT stocké dans les ménages et une moyenne de 30% de plastique dans les CRT.



Le projet uPOPCI entend apporter des solutions spécifiques à l'émission du PBDE, des dioxines et furanes, composés chimiques toxiques issus de la gestion non écologiquement rationnelle des matériaux plastiques.

## 1.2 Objectifs et contenu

Le présent document vise à fournir aux autorités compétentes et aux acteurs de la gestion du plastique – notamment les acteurs impliqués dans la collecte, le transport, le tri et le recyclage - des directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des plastiques, y compris ceux issus des DEEE et VFV.

Grâce à ces directives techniques, les autorités et les acteurs sont censés :

- Comprendre les problématiques sociales de la gestion des déchets plastiques, notamment en ce qui concerne le rôle du secteur informel et des femmes (chapitre 2) ;
- Connaître les caractéristiques des plastiques et de leurs déchets, y compris les différentes catégories de polymères, leurs additifs, leur recyclabilité, leurs sources, et leur relation avec les POP (chapitre 3) ;
- Obtenir un aperçu des classifications internationales applicables aux déchets plastiques (chapitre 4) ;
- S'approprier les meilleures pratiques pour une gestion écologiquement rationnelle des plastiques, notamment sur les options de valorisation, la collecte, le transport, le stockage, la manutention, l'identification et le tri des déchets plastiques, les installations de traitement, les outils et équipements, le processus de traitement, ainsi que l'élimination des plastiques non recyclables (chapitre 5). Ce chapitre explique également les produits issus du recyclage du plastique et les potentiels débouchés ;
- Comprendre les problématiques financières liées à la gestion des déchets plastiques, y compris les relations entre le prix du pétrole, du plastique vierge et du plastique recyclé, les dépenses et recettes associées à la gestion de ces déchets, ainsi que les possibilités de financement (chapitre 6).

## 2. Aspects sociaux de la gestion des déchets plastiques

Le cadre institutionnel de gestion des déchets en Côte d'Ivoire a oscillé entre centralisation et décentralisation depuis l'indépendance en 1960. La recentralisation en 2007 au travers de la création de l'Agence Nationale de Salubrité Urbaine (ANASUR) a créé des conflits avec les mairies en raison de la réduction de leur responsabilité en matière de salubrité et d'assainissement, rendant la collaboration difficile et la gestion des déchets inefficace. De leur côté, les opérateurs privés déploraient le manque de proximité avec cette instance nationale. Dans le but de pallier les manquements institutionnels, techniques et financiers de l'ANASUR, le décret n° 2017-692 du 25 octobre 2017 (Présidence de la République de Côte d'Ivoire, 2017) a créé l'Agence nationale de Gestion des Déchets (ANAGED), placée sous la tutelle technique du Ministère de l'Hydraulique, de l'Assainissement et de la Salubrité qui est en charge de tous les types de déchets solides<sup>4</sup>. En complément de cette réforme, les services publics de propreté de l'agglomération d'Abidjan - comprenant le nettoyage des rues, les collectes des déchets solides ménagers et assimilés (composés des déchets ménagers classiques, des déchets végétaux et des encombrants), le regroupement et le transport jusqu'aux centres de stockage ou de traitement – ont été délégués à deux opérateurs internationaux dans le cadre de partenariats public-privé (PPP) avec l'ANAGED. L'entreprise tunisienne ECOTI SA a remporté l'appel d'offre pour le secteur 1, Abidjan Nord-Est (Abobo, Anyama, Bingerville, Cocody, le Plateau) et l'entreprise portugaise ECO EBURNIE pour les secteurs Abidjan Nord-Ouest (Adjamé, Attécoubé, Yopougon et Songon), et Abidjan Sud (Koumassi, Marcory, Port-Bouët, Treichville) (Brisoux et Elgorriaga, 2018). Les entreprises privées industrielles doivent quant à elles signer un contrat avec un opérateur privé autre que ECOTI ET EBURNIE afin de gérer leurs déchets. Il existe plusieurs centres de groupage et de transfert de déchets disséminés dans la ville d'Abidjan et un Centre de Valorisation et d'Enfouissement Technique de Kossihouen (situé à 26 km au nord d'Abidjan). Le taux de collecte des déchets solides ménagers et assimilés est estimé à un peu plus de 50%, l'autre moitié étant déversée dans des zones naturelles ouvertes ou dans des zones de drainage, ce qui peut entraîner des inondations et menacer l'environnement et la santé humaine. Une quantité importante de déchets est brûlée, ce qui aggrave la qualité de l'air et entraîne la libération non intentionnelle de POP (GEF, 2018). En Côte d'Ivoire, la gestion du recyclage du plastique reste dominée par les structures privées et le secteur informel. Elle est aussi très concentrée dans la capitale économique Abidjan où l'on trouve la majorité des industries du pays. Il existe plusieurs centres de recyclage de plastiques :

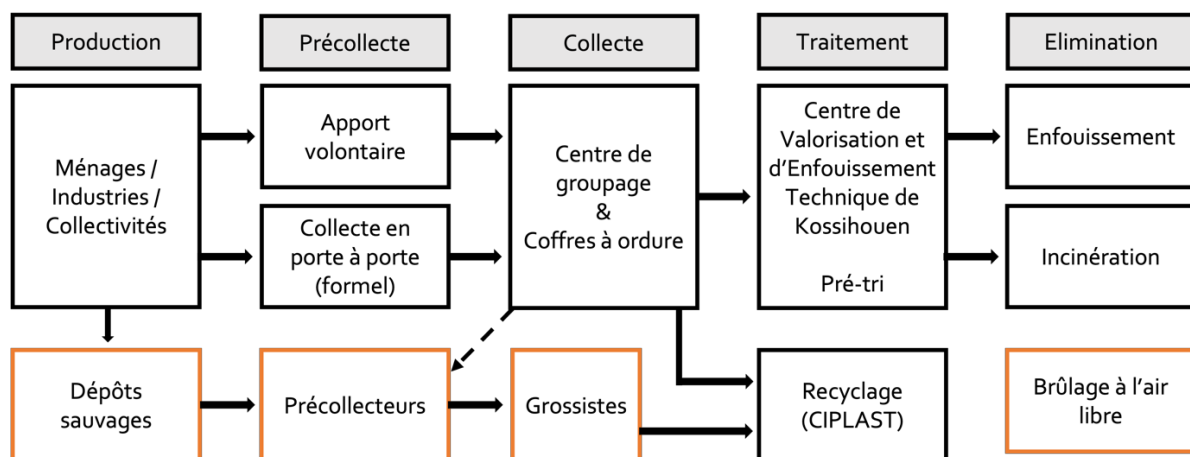
- RECYCLAGE CI - Société de recyclage et valorisation des déchets en carton, fer et plastique (<https://www.recyclage.ci/>) ;

---

<sup>4</sup> L'ANAGED fusionne l'ANASUR et le Fond de Financement des Programmes de Salubrité Urbaine (FFPSU) avec pour mission la collecte, le transport, la valorisation, l'élimination des déchets, le contrôle du service public de propreté délégué aux collectivités territoriales. Sa création est censée pallier les manquements institutionnels, techniques et financiers. L'objectif ultime étant d'améliorer de 60% en moyenne à 95% le taux de collecte des déchets ménagers et assimilés à Abidjan, grâce à une meilleure gouvernance et à une meilleure collaboration entre les institutions et les acteurs de la filière (Diabate et Achimi, 2020).

- RECYPLAST - Société spécialisée dans le recyclage des déchets plastiques, de la collecte jusqu'à la production de matières premières secondaires (<https://recyplast.ci/>) ;
- ECOPLAST INNOV - Start-up spécialisée dans le recyclage des déchets plastiques et des pneus usés (<https://www.goafricaonline.com/ci/577719-ecoplast-innov-industrie-plastique-agboville-cote-ivoire>) ;
- CISSE PLASTIQUE (CIPLAST) – Société spécialisée dans le recyclage des plastiques d'emballage (<https://www.nexpages.com/ci/cisse-plastique-ciplast-cote-d-ivoire-5652>) ;
- Coliba – Entreprise sociale engagée dans la transformation des déchets plastiques (<https://colibaafrica.com/>).

La figure ci-dessous montre la chaîne de valeur des déchets plastiques dans la capitale. En noir est représenté le réseau formel, en orange le réseau informel et les pratiques non-écologiquement rationnelles.



**Figure 1** - Chaîne de valeur des déchets plastiques à Abidjan, Côte d'Ivoire (élaboration UNITAR à partir de Brisoux et Elgorriaga, 2018 ; Diabate et Achimi, 2020 ; Appia, 2020)

Ce chapitre présente les pratiques actuelles en Côte d'Ivoire, en s'intéressant notamment à la prédominance du secteur informel dans la collecte et le rôle des femmes dans la gestion des déchets plastiques.

## 2.1 Marginalisation et collecte informelle

Le secteur informel occupe une place importante dans l'économie en Côte d'Ivoire, comme dans la plupart des pays en voie de développement. Depuis quelques années, ce secteur s'est imposé comme un axe incontournable pour le développement de l'économie nationale, en raison de la longue

période d'instabilité qu'a connue le pays et de la réduction subséquente de l'emploi dans le secteur formel ou moderne (Kouassi, 2020).

La précollecte des déchets ménagers - y compris les plastiques - consiste à regrouper les déchets dans des centres de groupage et coffres à ordures, afin qu'ils puissent ensuite être transportés au Centre de Valorisation et d'Enfouissement Technique de Kossihouen (précédemment à la décharge d'Akouédo). Les ménages peuvent apporter volontairement leurs déchets (ce qui est assez rare en pratique). Il existe également un service (formel) de collecte effectué par deux entreprises internationales mandatées par l'état qui sillonnent les différentes communes pour collecter les déchets au porte-à-porte ou par regroupement, mais celui-ci est limité (en termes de quartiers et de régularité) (voir ci-dessus). Enfin, une large quantité de déchets est toujours déversée dans les espaces publics.

Les précollecteurs sont souvent des jeunes du quartier ou des adultes au chômage, notamment des femmes, qui agissent en parallèle du système de gestion officiel sur la base de contrats verbaux avec les ménages. Ils collectent les déchets en échange d'une rémunération mensuelle comprise généralement entre 1000 et 1500 francs FCFA. Depuis plusieurs années, des initiatives ont été mises en œuvre à Abidjan pour promouvoir la collecte des déchets plastiques à l'aide d'applications mobiles et internet (voir [section 5.7](#)). Les précollecteurs informels ne sont pas reconnus par les pouvoirs publics, ni intégrés dans les schémas de gouvernance ce qui entraîne des conflits avec les autres acteurs de filière. Par exemple, certains gestionnaires de postes de groupage leur en interdisent l'accès, ce qui a pour conséquence d'augmenter le nombre de dépôts sauvages. Les précollecteurs utilisent généralement du matériel vétuste et artisanal. Ils effectuent également une petite activité de tri, en récupérant les matériaux recyclables pour les revendre ensuite (Brisoux et Elgorriaga, 2018). Les déchets ménagers collectés sont ensuite entreposés ensemble dans des coffres couverts par des filets puis transférés à l'aide de camions et bennes au Centre de Valorisation et d'Enfouissement Technique de Kossihouen. Ce centre assure le traitement professionnel, efficace et durable des ordures ménagères (Kouassi, 2020) mais ne traite pas spécifiquement les plastiques.

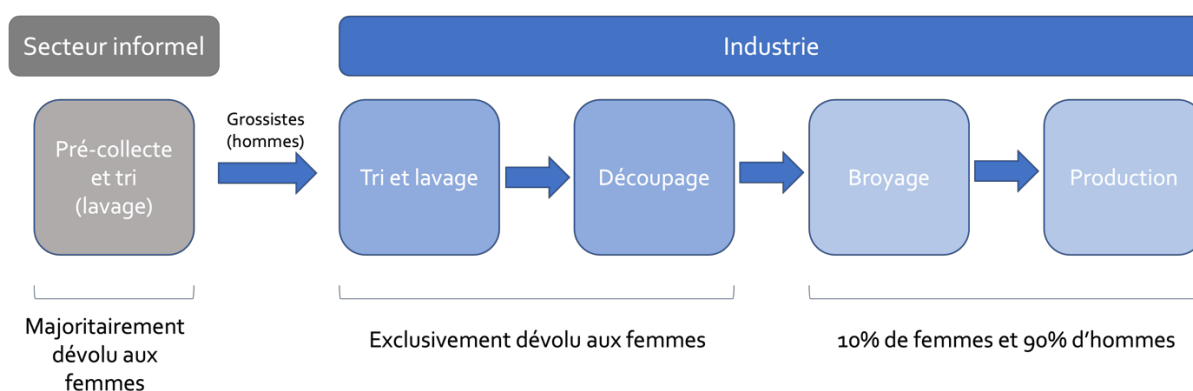
Une activité de tri manuel informel s'est largement développée sur les sites de groupage, de transfert et dans les dépôts sauvages. Les matériaux recyclables tels que le plastique sont collectés, sommairement nettoyés et revendus à des grossistes, des industriels ou vendus sur les marchés. Cette activité permet aux trieurs de générer entre 3 000 et 4 000 FCFA par jour, soit environ 90 000 FCFA par mois, à comparer au SMIG mensuel de 60 000 FCFA (Diabate et Achimi, 2020).

## 2.2 Rôle des femmes dans la minimisation de l'utilisation du plastique et dans la gestion des déchets plastiques

Les femmes jouent un rôle central mais largement invisible dans l'utilisation et le recyclage du plastique. Les recherches démontrent que les femmes sont particulièrement exposées aux plastiques, pour des raisons biologiques et sociétales. En effet, le corps des femmes accumule davantage de substances chimiques, il est ainsi particulièrement sensible aux toxines pendant la puberté, la grossesse, la lactation et la ménopause, avec des conséquences potentiellement graves pour les fœtus. Les produits d'hygiène féminine, les produits de beauté et les produits d'entretien ménager sont eux aussi problématiques : les tampons contiennent jusqu'à 6 % de plastique et les serviettes peuvent être constituées à 90 % de plastique issu du pétrole (Mer & océans, 2021) ; près de 80% des produits de beauté contiennent des microplastiques et d'autres matières plastiques dans leur formule (Slow Cosmétique, n.d.) ; de même pour les produits d'entretien qui peuvent contenir des microplastiques, des agents de surface et des solvants (Mer & océans, 2021). D'autre part, le rôle des femmes dans la chaîne de valeur des déchets plastiques, le caractère informel de leurs activités et le manque de protection adaptée les exposent à des risques accrus de contamination.

Dans la plupart des ménages, les femmes prennent les décisions d'achat de biens et de nourriture (Askin, 2020). Elles pourraient donc influencer l'achat de produits contenant moins de plastique et le fait qu'ils soient ou non emballés dans du plastique. Cela nécessite une sensibilisation accrue de la présence de plastiques dans les produits de consommation courante et des risques pour la santé et l'environnement qui leurs sont associés.

Dans le cadre du projet uPOPCI, une étude (Appia, 2020) s'est intéressée au rôle des femmes dans le secteur du plastique, en se penchant particulièrement sur la collecte, la récupération et le recyclage des plastiques d'emballage en polystyrène et des ménages.



**Figure 2** - Rôle des femmes dans le processus de gestion du plastique (élaboration UNITAR à partir de Appia, 2020)

La précollecte et le tri des plastiques sont généralement effectués par des femmes seules ou en petits groupes. Le travail des femmes dans la collecte et la récupération consiste à rassembler un maximum de déchets plastiques pour les rincer, les nettoyer et les sécher. Le plastique est ensuite acheté par les collecteurs (grossistes) sur place ou au site des collecteurs qui revendent en gros cette même marchandise aux industriels pour recyclage.

Le caractère informel du secteur maintient les travailleuses dans des conditions de travail très pénibles. Les phases de collecte et de tri sont très salissantes et fatigantes. Elles doivent transporter des charges très lourdes sur de longues distances afin de collecter un maximum de déchets plastiques dans les décharges urbaines, souvent accompagnées de leurs enfants sur le dos. Les plastiques sont collectés avec des outils très archaïques comme de simples barres de fer, voire à main nue parmi les matériaux démontés ou les ordures. Les femmes (et hommes) ignorent la présence des PBDE dans les déchets plastiques et il est fréquent de les voir travailler sans aucune protection individuelle (masques, gants, chaussures de sécurité etc.), ce qui augmente le risque de contamination aux POP.



Figure 3 - Stock de déchets plastiques appartenant aux femmes ©Appia, 2020



Figure 4 - Collecte de déchets plastiques ©Appia, 2020



Figure 5 - Manipulation des déchets dans une entreprise industrielle ©Appia, 2020

La transformation des déchets plastiques se fait au niveau industriel par des entreprises qui utilisent le plastique recyclé comme matière premières pour produire de nouveaux produits – tels que des couverts, des récipients (seaux, pots), des chaussures, des sachets et bâches, des chaises et des tables de jardin en plastique – réintroduit sur le marché local. Lors de l'étude, une visite dans les locaux de l'entreprise de recyclage du plastique CIPLAST (partenaire du projet) a permis d'observer les conditions de travail des femmes.

Les rôles au sein de l'entreprise sont attribués selon le sexe : le tri et le lavage des déchets sont confiés aux femmes et le transport et la manipulation des machines de transformation aux hommes. De ce fait les femmes se voient confier les tâches les plus pénibles parce que très salissantes et épuisantes.

Lorsque les stocks de plastique d'emballage en polystyrène sont reçus à CIPLAST, les femmes procèdent au tri en séparant le plastique propre de celui sale et de tous autres éléments. Les plastiques sales sont envoyés au lavage et ceux qui ne nécessitent pas de nettoyage sont envoyés soit au broyage directement, soit au découpage avant le broyage (Appia, 2020).

Côte d'Ivoire Plastiques (CIPLAST) est une société spécialisée dans le recyclage des plastiques d'emballage non biodégradable (PS et PET). La structure dispose de 3 grands entrepôts pour la réception et le recyclage des déchets et reçoit en moyenne entre 3 à 5 tonnes de déchets plastiques par jour. CIPLAST dispose d'une capacité de fusion électrique et fabrique des pellets. Sa chaîne de production permet de fabriquer des matériels utilitaires recyclables\*, la valorisation et l'élimination des déchets industriels. Les locaux sont adaptés pour recycler des plastiques non POP issus de DEEE et VFV. CIPLAST travaille localement avec de grandes entreprises telles que SAPH, FILTISAC, NESTLE et elle est en partenariat avec des compagnies américaines, allemandes et pakistanaises. Elle dispose d'une flotte de véhicules pour l'exportation des marchandises destinées à la vente. CIPLAST compte 90 salariés dont 40 femmes (Zadi, 2020 ; Annex I Gender Analysis ; Appia, 2020 ; GEF, 2018).

\*La société produit notamment des bâches noires (3 tonnes par jour), des tasses de latex pour hévéa (140 000 par jour), des seaux (3 000 par jour), des sachets pépinières pour cacao, hévéa (560 000 sachets par jour) et palmiers (30 000 sachets par jour). Au total, CIPLAST utilise environ 20 000 tonnes de PS et 3 000 tonnes de PET.



**Figure 6 - Lavage du plastique par les femmes**  
©Appia, 2020



**Figure 7 - Tri du stock de plastique par les femmes**  
©Appia, 2020

Les femmes transportent sans chariot le stock de plastique de la zone de tri à la zone de lavage. Elles lavent le plastique à main nue dans des grands bacs d'eau, équipées uniquement de tabliers de fortune en plastique accrochés à la taille pour se protéger. Après le lavage, le plastique est séché et découpé par les femmes à l'aide de machette pour en faire de petits morceaux puis passé au broyage. Les plastiques qui ne nécessitent pas de découpage sont envoyés directement au broyage qui devient en majorité le travail des hommes. Toutefois, un broyeur nécessaire au broyage du plastique dur est dédié aux femmes. Ces femmes, qui sont pour la plupart analphabètes ou n'ont pas fait d'études en électromécanique, ont été formées au sein de CIPLAST pour manipuler les machines. Elles sont placées sous la supervision d'un homme qui surveille l'utilisation des machines et intervient en cas de difficultés. En effet, la formation reçue leur permet juste d'allumer et d'éteindre les machines. Elles ont comme protection des masques et des casques (Appia, 2020).



**Figure 8** - Découpage du plastique  
©Appia, 2020



**Figure 9** - Broyage du plastique par les femmes ©Appia, 2020

Le plastique broyé est ensuite passé à l'extrudeuse qui permet l'obtention de filaments plastiques qui sont eux-mêmes broyés pour obtenir des granulés. Ces granulés sont introduits dans une machine disposant du moule du modèle de production souhaité pour produire des articles en série. Cette étape se fait dans l'unité de production. Certaines femmes choisissent d'intégrer cette unité où les salaires sont plus élevés (3500 FCFA par jour contre 3000 FCFA pour le tri et lavage). Pour cela, elles suivent une formation d'une semaine avec le technicien en chef, puis sont mises en essai sur les machines pendant une autre semaine sous la supervision des machinistes (hommes) de l'entreprise. Si l'essai est concluant alors les femmes sont gardées au poste de machiniste, mais toujours sous la supervision des hommes. Enfin, après moulage, les articles sont mis en colis (Appia, 2020) à nouveau par des femmes.



**Figure 10** - Une femme manipulant un appareil de moulage ©Appia, 2020



**Figure 11** - Une femmes faisant le colisage de sachets ©Appia, 2020



### 3. Caractéristiques des plastiques et de leurs déchets

## Plastique = Polymère + additifs

#### 3.1 Catégories de polymères plastiques

Les classifications des matières plastiques sont basées sur des critères variés, dépendant des besoins ou de l'utilisation, par exemple (Landolsi M. W., 2017 ; Renovables Vertes, n.d.) :















- Leur **procédé de polymérisation** → polycondensation (nylons, polyuréthanes et polyesters) ; polyaddition (polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polystyrène (PS)).
- Leur **comportement thermique** :
  - Thermoplastiques tels que le PE, PP, PVC, PS → constitués de polymères linéaires ou ramifiés, ils « fondent » de manière réversible par simple chauffage entre 100-200°C ce qui permet leur mise en forme.
  - Thermodurcissables, tels que les résines polyesters, phénoliques, polyuréthanes (PUR), ou les résines à base de formaldéhyde → leur comportement à la température est irréversible car le chauffage du thermodurcissable conduit à la dégradation de la matière si on dépasse une température donnée. Ces matières n'intègrent que très rarement le cycle de recyclage du plastique. Voir l'Annexe 1 pour plus d'information.
- Leur **structure chimique** → cristallin, amorphes et semi-cristalline.
- Leur **critère ou type d'usage** → plastiques de grande diffusion ou plastiques techniques.
- Leur **comportement mécanique** → p.ex. élastomères (présentant des propriétés « élastiques »).

- Leur **taille** → ils sont alors préfixés par « macro » ou « micro ».
- Leur **capacité de biodégradation**.



Le développement extrêmement rapide de l'industrie des matières plastiques et la prolifération des composés macromoléculaires ne permettent pas une classification nette et précise de ces matériaux. Tout classement est incomplet et aucun n'englobe dans un ensemble de catégories définies, toute la gamme des produits connus sous le nom de matières plastiques (INRS, 2019).

Les industriels (Society of the Plastics Industry – SPI) ont élaboré une classification en sept grandes familles identifiées par un numéro qu'on retrouve dans un triangle formé de trois flèches. Le tableau ci-dessous donne une vue d'ensemble de ces familles de plastiques, leurs propriétés et leurs utilisations.

<p><b>Sigle</b></p> <p><b>Nom Français</b></p> <p><b>Anglais</b></p>	  <p><b>Polyéthylène téréphtalate (PET)</b></p> <p>Polyethylene Terephthalate (PETE)</p>	  <p><b>Polyéthylène haute densité (PEHD)</b></p> <p>High Density Polyethylene (HDPE)</p>	  <p><b>Polychlorure de vinyle (PVC)</b></p> <p>Polyvinyl Chloride (V ou PVC)</p>	  <p><b>Polyéthylène basse densité (PEBD)</b></p> <p>Low-Density Polyethylene (LDPE)</p>	  <p><b>Polypropylène (PP ou PPI)</b></p> <p>Polypropylene (PP)</p>	  <p><b>Polystyrène (PS)</b></p> <p>Polystyrene (PS)</p>	  <p><b>Autres</b></p> <p>Comprend de nombreux plastiques, tels que : polycarbonate (PC), résines époxydes, téflon (PTFE), mélamine, caoutchoucs (latex, mousse néoprène).</p>
<p><b>Propriétés</b></p>	<p>Transparent ou semi-opaque</p> <p>Léger</p> <p>Solide, un peu flexible</p>	<p>Translucide</p> <p>Léger</p> <p>Souple et flexible</p> <p>Résistant au froid et au chaud</p>	<p>Opaque ou transparent</p> <p>Rigide ou flexible par l'ajout de plastifiants</p>	<p>Translucide</p> <p>Souple</p> <p>Résistant au froid</p> <p>Résistant aux chocs</p>	<p>Translucide à opaque</p> <p>Dur à semi-rigide</p> <p>Résistant aux hautes et basses températures</p>	<p>Opaque ou transparent</p> <p>Dur</p> <p>Cassant</p> <p>Bon marché</p> <p>Facile à créer</p>	<p>Propriétés variées en fonction des différents plastiques</p>

	<p>Longue durée de vie</p> <p>Étanche au CO<sub>2</sub></p> <p>Facilement façonnable lorsqu'il est fondu</p>	<p>Résistant aux chocs</p> <p>Imperméable à l'eau, à certains produits chimiques, au gaz et aux arômes</p>	<p>Antidérapant ou lisse</p> <p>Résistant à l'eau et au feu</p> <p>Facile à entretenir</p> <p>Inerte</p>	<p>Imperméable à l'eau</p> <p>Structure la plus simple de tous les plastiques, ce qui le rend facile à produire</p>	<p>Hydrophobe</p> <p>Très résistant à l'abrasion</p>		
Utilisations	<p>Bouteilles de boissons (eau, soda), bains de bouche, contenants / barquettes alimentaires, emballages jetables, cartes de crédit ou de fidélité.</p>	<p>Bouteilles opaques de lait ou de jus, bouchons de bouteilles, pots de crème glacée, récipients cosmétiques ou médicaments, contenants de produits de nettoyage, bidons d'huile moteur, certains tuyaux, nombreux</p>	<p>Film étirable alimentaire, certains emballages alimentaires, bouteilles d'huile végétale, bouteilles de détergent liquide, manches d'ustensiles de cuisine, ruban adhésif, cartes de crédit ou fidélité, mobilier de jardin, tuyaux</p>	<p>Film étirable alimentaire, pellicule intérieure des contenants type Tetra Pak, bouchons de bouteilles de lait, sacs de congélation, sacs poubelles, sacs réutilisables de supermarché, bâches, bouteilles en</p>	<p>Biberons, pots de yaourt et de margarine, emballages de beurre, couvercles, bouchons de contenants, vaisselle et pailles, plats micro-ondable / tupperwares, gourdes, pièces de voiture, pare-chocs, gilets thermiques, couches</p>	<p>Vaisselle jetable, gobelets, certains contenants alimentaires (pot de yaourt ou crème fraîche, barquette de viande en styromousse), ustensiles de cuisine, certains jouets, emballage de produits électroniques et</p>	<p>Bonbonnes d'eau (PC), revêtement intérieur des conserves alimentaires (résines époxydes), poêles, casseroles et moules de cuisson (téflon), bouteilles réutilisables, vaisselle (mélamine), tétines pour</p>

		jouets pour enfants, articles extérieurs (pots de fleurs, bancs de parc).	de plomberie, gouttières, fenêtres, équipements médicaux, tétines de biberon, couche-culotte.	plastique plus souples.	jetables, jouets, tapis synthétiques.	d'appareils électroménagers, isolant thermique, fournitures scolaires (stylos, équerre), étuis CD.	bébés (caoutchoucs naturel et synthétique), lunettes de soleil, boîtiers d'ordinateur.
<b>Dangerosité<sup>5</sup></b>	Bien que très largement utilisé dans l'industrie des emballages alimentaires et reconnu comme stable, le PET contient des additifs problématiques (trioxyde d'antimoine, phtalates) qui, sous l'effet de fortes chaleurs, sont susceptibles de migrer dans	Parce qu'il est stable et résistant, le PEHD migre moins que d'autres types de plastique lorsqu'il est en contact avec les aliments et les boissons. Faible risque de toxicité.	De nombreux agents chimiques entrent dans la fabrication du PVC (dioxines cancérigènes, phtalates, bisphénol A, métaux lourds) et peuvent migrer dans les aliments plus facilement que dans le cas des autres plastiques.	Le PEBD présente des caractéristiques similaires au PEHD. C'est un plastique résistant et stable. Faible risque de migration de microparticules, d'additifs et de plastifiants lorsqu'il entre en contact avec des aliments ou des liquides.	Le PP, incontournable dans les emballages alimentaires, résiste mieux à la chaleur et aux agents chimiques que le polyéthylène (PEHD et PEBD) et entre dans la fabrication de divers dispositifs de fermeture (les bouchons notamment).	Le polystyrène est utilisé pour ses propriétés isolantes. Paradoxalement, il résiste mal à la chaleur. À température élevée, il libère du styrène, une substance qui pourrait augmenter les risques de cancer (lixiviation de produits chimiques nocifs).	Le polycarbonate a été retiré de nombreux produits qui entraînent en contact avec les aliments ou l'eau (gourdes d'eau), car il contient du bisphénol A, un perturbateur endocrinien reconnu. Le PC est toujours utilisé dans la fabrication des grosses bonbonnes d'eau.

<sup>5</sup> Vert = Dangerosité faible / Jaune = Dangerosité moyenne / Rouge = Dangerosité élevée.

	l'eau ou dans les aliments (lixiviation).		Gardez les articles en PVC à l'écart des aliments et des boissons.		Il fait partie des plastiques les plus sûrs.		<p>Le téflon peut migrer dans les aliments lorsqu'il est chauffé. Le caoutchouc naturel est sûr (sauf allergie).</p> <p>Les caoutchoucs synthétiques contiennent des plastifiants (nitrosamines) qui sont suspectés d'accroître les risques de cancer.</p>
--	---	--	--	--	--	--	--

**Tableau 1** - Classification propriété, utilisation et dangerosité des principaux plastiques (élaboration UNITAR à partir de Protégez-vous, 2020 ; Renouvelables Verdes, n.d. ; General Kinematics, 2022 ; Paprec, 2020)

## 3.2 Additifs



Un « additif » est « une substance ajoutée volontairement à une matière plastique afin d'obtenir un effet physique ou chimique lors de la transformation de la matière plastique ou de modifier les caractéristiques physiques ou chimiques du matériau ou de l'objet final, et qui est destinée à être présente dans le matériau ou l'objet final » (Commission Européenne, 2011).

Les fabricants de plastique utilisent souvent des produits chimiques et d'autres matériaux pour modifier les propriétés de leurs produits, par exemple les rendre durs, souples, brillants, résistants à la chaleur ou simplement pour leur donner une certaine couleur. Malheureusement, la présence de certains de ces additifs limite la recyclabilité des plastiques. Certains de ces produits chimiques sont connus pour être dangereux pour la santé humaine et l'environnement. D'autres additifs peuvent endommager les équipements de recyclage ou leur présence réduit la qualité des plastiques recyclés. Afin de valoriser les plastiques en toute sécurité et avec succès, les entreprises de recyclage doivent savoir comment détecter la présence d'additifs problématiques et comment enlever et éliminer les fractions de plastique impropres au recyclage (voir [section 5.3](#)) (Bill et. al., 2019).

L'Agence européenne des produits chimiques a cartographié plus de 400 substances utilisées comme additifs dans les plastiques (uniquement disponible en anglais) (ECHA, n.d.).

### Charges



*Charge minérale / Fibres de verre*

Les plastiques sont mélangés avec des matériaux de remplissage à faible coût pour réduire les coûts de production. Certaines charges peuvent également rendre un plastique plus rigide ou augmenter sa résistance, sa ténacité ou sa résistance à la chaleur. La plupart de ces matériaux sont à base de minéraux ou de fibre de verre. Les charges à base minérale (par exemple le carbonate de calcium, le talc, etc.) ne posent généralement pas de problème dans le processus de recyclage. Les charges à

base de fibre de verre peuvent être problématiques dans le processus de recyclage, en particulier lorsque la teneur en fibres de verre est élevée (Bill et. al., 2019).

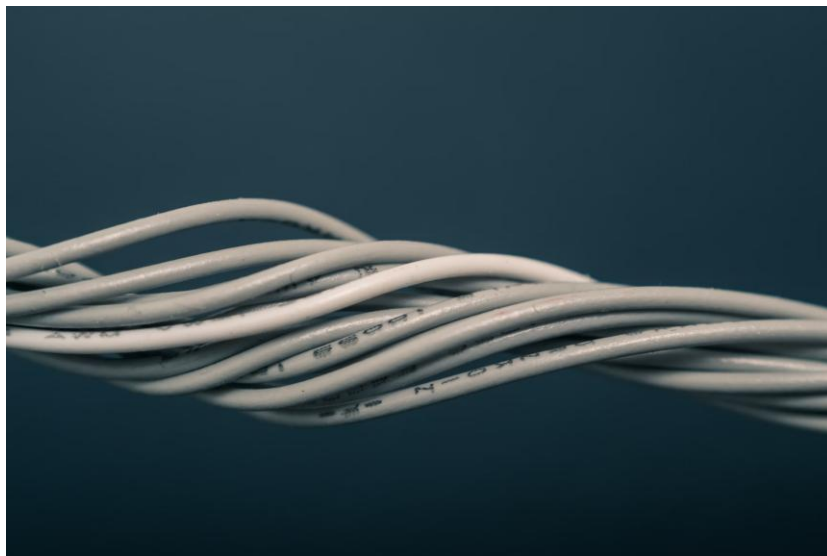


Des teneurs très élevées en charges minérales peuvent rendre un plastique cassant. Ces plastiques fragiles doivent être triés car ils affectent la qualité du produit.

Si un broyeur mécanique est utilisé pour granuler des matières plastiques, il peut être endommagé lors du traitement de matériaux à haute teneur en fibres de verre.

Lorsque les fibres de verre sont coupées et raccourcies lors du processus de recyclage, leurs effets positifs sur la résistance et la résistance à la flexion sont perdus, ce qui entraîne une réduction de la qualité du produit (Bill et. al., 2019).

## Plastifiants



*Plastifiant utilisé pour assouplir le PVC*

Ces produits chimiques augmentent la douceur, la flexibilité et la durabilité des plastiques. Leur application principale est la production de PVC souple, souvent utilisé comme isolant de câbles. Certains plastifiants sont dangereux pour la santé humaine et en particulier les enfants et les femmes enceintes ne doivent pas être exposés à ces produits chimiques (Bill et. al., 2019).





Les plastiques en PVC souple contiennent souvent des niveaux élevés de plastifiants potentiellement dangereux et ne doivent pas être utilisés pour fabriquer des jouets ou des produits qui entrent en contact avec des aliments ou de l'eau (Bill et. al., 2019).

## Retardateurs de flamme



Les retardateurs de flamme sont utilisés pour rendre les plastiques plus résistants au feu. On les retrouve dans de nombreux articles, tels que les EEE, les véhicules, les tapis, matelas et oreillers, les peintures, etc. Ces additifs peuvent être classés en trois groupes principaux :

- Retardateurs de flamme minéraux
- Retardateurs de flamme à base de phosphore
- Retardateurs de flamme bromés (RFB)

Certains retardateurs de flamme sont dangereux pour la santé humaine et l'environnement. Divers produits chimiques appartenant au troisième groupe sont des polluants organiques persistants et donc particulièrement problématiques, c'est pourquoi leur utilisation est limitée par des limites réglementaires (par exemple, PBB, PBDE, HBCDD). Les plastiques contenant des RFB doivent donc être triés et gérés de manière appropriée (Bill et. al., 2019).



Différents retardateurs de flamme sont utilisés en combinaison avec différents types de plastique. Les RFB sont principalement présents dans les plastiques ABS et HIPS.

Des niveaux élevés de RFB peuvent souvent être trouvés dans les boîtiers en plastique des écrans, des équipements informatiques et des petits appareils électroniques, tandis que les niveaux de RFB dans les plastiques des gros appareils électroménagers (par exemple, les réfrigérateurs, les congélateurs, les machines à laver, les sèche-linge, etc.) sont généralement inférieurs aux valeurs limites légales (Bill et. al., 2019).

Les pentabromodiphényl éther (PentaBDE), hexabromobiphényle (HBB), Octabromodiphényl éther (OctaBDE) et hexabromocyclododécane (HBCDD) sont classés comme POP par la Convention de Stockholm. Ces quatre retardateurs de flammes sont ou ont été utilisés comme additifs dans les plastiques et les textiles pour résister à la propagation du feu (Weinberg, n.d.).

## Pigments



La couleur d'un plastique peut être influencée par l'ajout de pigments. Ce sont généralement des composés inorganiques, dont certains sont à base de métaux lourds comme le plomb et le cadmium. Les métaux lourds sont toxiques pour la santé humaine et l'environnement et leur présence dans les produits recyclés est donc limitée par des valeurs limites légales (Bill et. al., 2019).



Les plastiques doivent être triés par couleur lors du processus de recyclage. Les plastiques blancs et transparents atteignent les prix les plus élevés du marché, suivis des fractions monochromes.

Les fractions de plastique de couleurs mélangées ont généralement moins de valeur.








Les plastiques de couleur rouge, orange et jaune peuvent contenir des pigments à base de plomb ou de cadmium. Lorsque la présence de ces métaux lourds est suspectée, les pièces en plastique doivent être retirées du processus de recyclage (Bill et. al., 2019).

### 3.3 Polymères recyclables et non recyclables

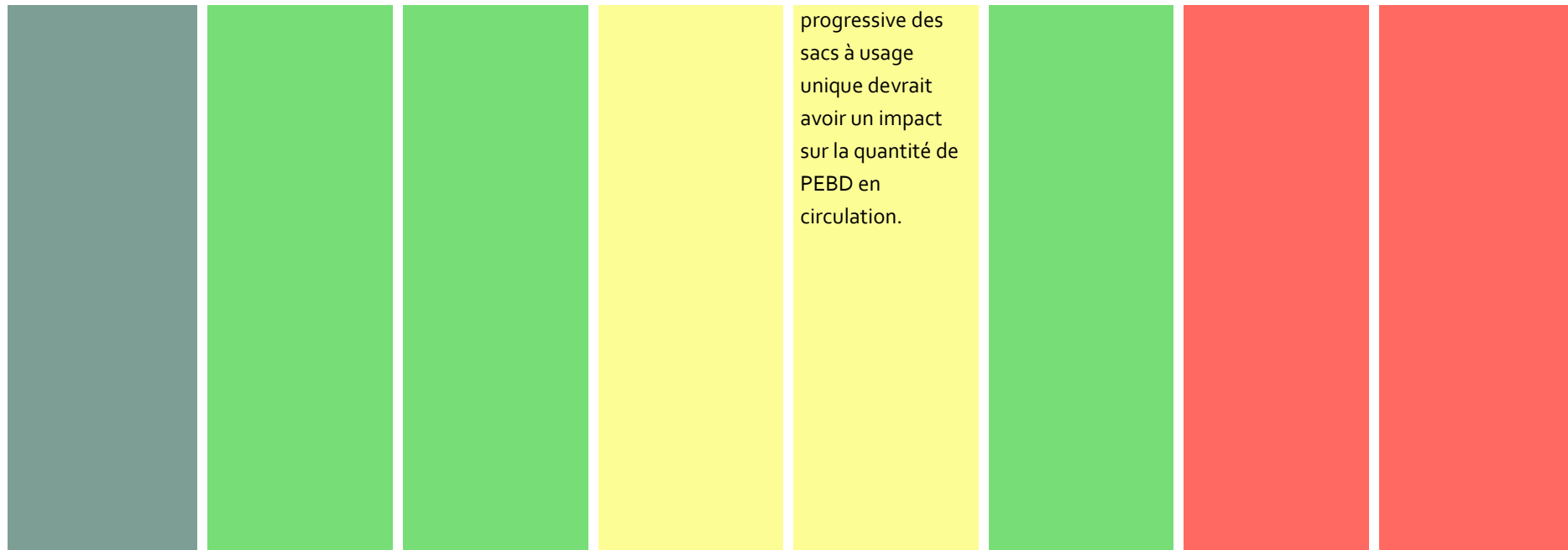
Tous les plastiques ne sont pas (encore) recyclables. Néanmoins, les innovations technologiques visant à valoriser les plastiques progressent rapidement, laissant envisager de nouvelles options de recyclage dans le futur.

Le potentiel de recyclabilité des différents plastiques dépend principalement de la façon dont ils ont été fabriqués, auquel s'ajoute des limites économiques (rentabilité), environnementales et sanitaires (présence de contaminants), et techniques (SLRecycling, 2022) :

- Les plastiques **thermodurcissables**, tels que l'époxy ou le polyuréthane (voir Annexe 1 pour d'autres exemples), contiennent des polymères qui forment des liaisons chimiques irréversibles. Lorsqu'ils sont chauffés, ces matériaux brûlent avant de pouvoir être remodelés.
- A l'inverse, les **thermoplastiques** peuvent être chauffés, refondus et remoulés. Si en principe ils peuvent être réutilisés, la difficulté consiste à s'assurer que le matériau récupéré en sortie de centre de tri est suffisamment pur. A titre d'exemple, il est possible de recycler des déchets PET même s'ils contiennent jusqu'à 20% de PVC, mais pas s'ils contiennent 0,1% de plastique technique (Parisot, F., 2015). Mais au sein même des thermoplastiques, les potentiels de recyclabilité diffèrent et les taux de recyclage restent limités, comme le montre le tableau ci-dessous. Et même lorsque la recyclabilité est bonne, le plastique n'est pas recyclable à l'infini car ses caractéristiques s'altèrent au cours du cycle de recyclage et il doit être mélangé à du plastique vierge pour conserver des propriétés satisfaisantes (pour plus d'information : Deluzarche, D., 2021).

Sigle et nom	 Polyéthylène téréphtalate (PET)	 Polyéthylène haute densité (PEHD)	 Polychlorure de vinyle (PVC)	 Polyéthylène basse densité (PEBD)	 Polypropylène (PP ou PPI)	 Polystyrène (PS)	 Autres
Recyclabilité <sup>6</sup>	Bonne. Le PET est un des plastiques le plus couramment recyclé. Les technologies utilisées dans les centres de tri permettent d'améliorer le tri et le recyclage des contenants et emballages en PET.	Bonne. Le PEHD est accepté dans la plupart des centres de recyclage du monde, car il s'agit de l'un des polymères plastiques les plus faciles à recycler.	Faible, à cause de la présence de nombreux additifs.	Faible. Techniquement, le PEBD peut être recyclé mais c'est un plastique très bon marché et de mauvaise qualité, ce qui rend son recyclage peu rentable. De plus, les sacs et pellicules en PEBD peuvent contaminer les chaînes de recyclage (difficiles à trier). L'interdiction	Bonne. Il peut être recyclé plusieurs fois avant d'arriver en fin de vie.	Très faible. Peu accepté dans la collecte. Les procédés industriels de recyclage ne sont pas très développés et il existe peu de débouchés.	En général, très faible, en raison notamment de la présence importante d'additifs. Ces types de plastiques sont également extrêmement difficiles à recycler car ils ne se décomposent pas facilement.

<sup>6</sup> Vert = Recyclabilité élevée / Jaune = Recyclabilité moyenne / Rouge = Recyclabilité faible.



**Tableau 2** - Recyclabilité des différents plastiques (élaboration UNITAR à partir de Protégez-vous, 2020 ; Renovables Vertes, n.d. ; General Kinematics, 2022 ; Paprec, 2020)



Pour simplifier, les plastiques qui se recyclent appartiennent essentiellement aux familles des polyéthylènes téréphtalates (PET), des polyéthylènes haute densité (PEHD) et des polypropylènes (PP). Très concrètement, les bouteilles (eau, sodas, yaourts à boire, huile alimentaire, lessive, etc.) et les flacons (gel douche, shampoing, sauce, liquide vaisselle, etc.) sont des déchets recyclables. Certains déchets en plastique restent difficiles à traiter dans la pratique, notamment les polychlorures de vinyle (PVC), les polyéthylènes basse densité (PEBD), les polystyrènes (PS) et les plastiques « autre ». C'est le cas des emballages trop fins ou trop légers, comme les films plastiques ou les sacs en plastique, les jouets et la vaisselle en plastique dur (Paprec, 2020).



### Zoom sur les plastiques à faible recyclabilité et les innovations technologiques

Le **PEBD**, qui constitue l'essentiel des films et sacs plastiques n'est que peu recyclé car ces films légers sont difficiles à récupérer et nécessitent des systèmes d'aspiration dans les lignes de tri des déchets. Ces déchets risquent de boucher les machines s'ils ne sont pas séparés correctement. Une fois séparés, ils doivent encore être dégraissés et lavés ce qui est très long à cause de leur surface importante (Parisot, F., 2015). Toutefois, il existe des solutions, par exemple une entreprise allemande (Stadler) fournit les installations nécessaires au recyclage de ces déchets : <https://w-stadler.de/fr/entreprise/news/detail/recyclage-des-films-et-des-emballages-souples-fermer-la-boucle-de-leconomie-circulaire>



Le **PVC** n'est pas recyclable dans les collectes normales mais il peut être pris en charge par des programmes spécialisés. Vidéo explicative du recyclage du plastique type PVC par une entreprise française (Paprec) : <https://youtu.be/qmOpAxn5xh4>

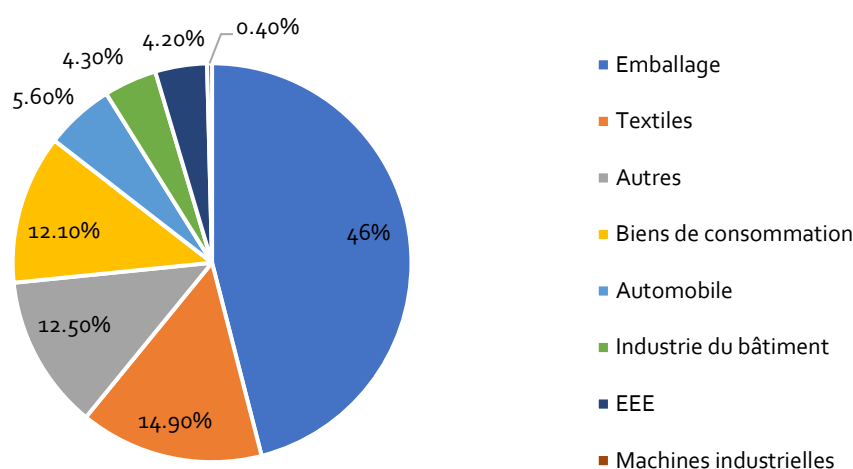


Le **polystyrène** n'est pratiquement jamais recyclé. Pourtant, le polystyrène expansé est recyclable à 100%. Le plus gros frein à son recyclage est son coût de transport après utilisation car ce type de plastique est composé à 98% d'air et 2% de polymères. Une entreprise canadienne (Polystyvert) a trouvé une solution pour réduire drastiquement ces coûts : [https://youtu.be/iKxqkKmc\\_SA](https://youtu.be/iKxqkKmc_SA)

### 3.4 Source de déchets plastiques

A l'échelle mondiale, les secteurs de l'emballage et du bâtiment représentent à eux deux plus de la moitié du marché du plastique, suivi par les l'industrie du textile, les biens de consommation, l'automobile, les équipement électriques et électroniques et les équipements industriels (Atlas du plastique, 2020 ; Plastic Europe, 2021).

En termes de génération de déchets plastique, il n'est pas étonnant de retrouver le secteur de l'emballage en première position. Il est suivi par le secteur des textiles, les biens de consommation, l'automobile, l'industrie du bâtiment, les équipement électriques et électroniques et enfin les machines industrielles (Tiseo, 2021).



**Figure 12** - Répartition de la production de déchets plastiques dans le monde en 2018, par secteur<sup>7</sup>  
(élaboration UNITAR à partir de Tiseo, 2021)

La production des déchets en Afrique sub-saharienne est inférieure au reste du monde, avec une moyenne de 0,46 kg produit par habitant par jour contre 0,76 kg dans le reste du monde. La production ivoirienne reste toutefois assez élevée avec 0,64 kg par habitant par jour (Diabate et Achimi, 2020). Les ménages produisent la très grande majorité des déchets en Côte d'Ivoire (97%) (Brisoux et Elgorriaga, 2018). En 2015, les plastiques représentaient environ 9% des déchets ménagers et ce chiffre était en augmentation en raison des habitudes de consommation (Diabate et Achimi, 2020).

<sup>7</sup> Basé sur une production de 342,6 million de tonnes métriques de déchets plastiques.

### 3.5 Plastique et POP

Les polluants organiques persistants (POP) sont des substances chimiques toxiques qui se dégradent lentement, se bioaccumulent dans la chaîne alimentaire et se déplacent loin des sources de pollution via l'air, l'eau ou les espèces animales migratrices (Commission Européenne, 2021).

Les POP peuvent être produits de manière :

- **Intentionnelle**, par exemple comme pesticides et d'autres produits à usages industriels.
- **Non-intentionnelle**, par exemple durant la combustion à l'air libre ou l'incinération des déchets et durant la combustion de la biomasse (feux de forêts, feux domestiques) ; durant certains processus industriels, comme la production de substances chimiques, de métaux, de textiles, de céramique ainsi que la production artisanale de briques (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017).

L'exposition aux POP est susceptible de provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine. Des études ont établi un lien entre l'exposition aux POP et le déclin, les maladies ou les anomalies d'un certain nombre d'espèces sauvages, y compris certains types de poissons, d'oiseaux et de mammifères. Chez les humains, des effets néfastes sur la santé reproductive, développementale, comportementale, neurologique, endocrinienne et immunologique ont été associés aux POP. Les personnes sont principalement exposées aux POP par le biais d'aliments contaminés, mais également à travers la consommation d'eau contaminée et le contact direct avec les produits chimiques. Chez les humains comme chez les autres mammifères, les POP peuvent être transférés par le placenta et le lait maternel à la progéniture en développement (US EPA, 2009).

En raison des risques environnementaux et sanitaires, l'utilisation des POP a été restreinte par des conventions internationales, notamment la *Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants* (ratifiée en 2004 par la Côte d'Ivoire). Entre autres, les dispositions de la Convention exigent de chaque partie de :

- Interdire et/ou éliminer la production et l'utilisation, ainsi que l'importation et l'exportation, des POP produits intentionnellement qui sont énumérés à l'annexe A de la Convention (article 3) ;
- Restreindre la production et l'utilisation, ainsi que l'importation et l'exportation, des POP produits intentionnellement qui sont énumérés à l'annexe B de la Convention (article 3) ;
- Réduire ou éliminer les rejets de POP produits non intentionnellement qui sont énumérés à l'Annexe C de la Convention (article 5) ;



- Veiller à ce que les stocks et déchets constitués de, contenant ou contaminés par des POP soient gérés de manière sûre et écologiquement rationnelle (article 6) (Convention de Stockholm, 2001).



Une vidéo explicative de la Convention de Stockholm est disponible ici : <https://www.pcb.unitar.org/additional-videos>

Les plastiques sont utilisés de multiples façons et croisent presque inévitablement les POP au cours de leur cycle de vie. Certains des additifs chimiques ajoutés aux plastiques pendant la production sont eux-mêmes des POP, notamment les retardateurs de flamme bromés, tels que les polybromodiphényléthers (PBDE), les substances alkylées polyfluorées (PFAS/PFOS), etc. contribuant à la libération involontaire de POP. Lors de leur utilisation, les plastiques peuvent également entrer en contact avec les POP et les adsorber à leur surface, agissant comme un vecteur.

En fin de vie, ces plastiques sont soit recyclés, soit éliminés. Des POP peuvent être libérés au cours des activités de dépoussiérage, de lavage et de chauffage du processus de recyclage. Dans le cas de l'élimination, les plastiques peuvent émettre des POP soit lors des activités d'incinération/combustion, soit par lixiviation (Chakraborty et. al., 2022). Dans de nombreux pays en développement tels que la Côte d'Ivoire, la combustion à l'air libre des déchets solides municipaux et le recyclage des déchets plastiques dans le secteur informel sont connus pour être les principales voies de rejet des POP associés au plastique tels que les retardateurs de flamme, les dioxines et les furanes (GEF, 2018 ; Chakraborty et. al., 2022). Ces pratiques élémentaires de récupération des matériaux et d'élimination de ces déchets peuvent dès lors être une source de contamination et exposer les recycleurs et la population globale aux contaminants.

L'Annexe 4 de ce document offre une vue d'ensemble des POP associés à différents types de plastiques et principaux secteurs contributeurs.

### 3.6 Micro plastique et pollution marine

On retrouve aujourd'hui plus de 150 millions de tonnes de plastique dans les océans, et plus de 10 millions de tonnes sont déversées chaque année. Si rien n'est fait, ces chiffres pourraient atteindre 600 millions et 29 millions de tonnes en 2040 (Pew Charitable Trusts and Systemiq, 2020). Le plastique représente 80% de tous les débris marins, des eaux de surface aux sédiments des grands fonds marins (IUCN, 2021).

Les activités anthropiques terrestres représentent environ 80% de la pollution plastique marine. Cela comprend : les pertes pendant la production et le transport, les déchets des voies publiques, l'élimination industrielle inadéquate des produits en fin de vie, la mauvaise gestion des déchets municipaux (par exemple, les décharges à ciel ouvert et les stations d'épuration inefficaces), le

ruissellement ou la dispersion aérienne des sols traités avec des boues d'épuration (fréquemment utilisées comme engrais des sols) ou les plastiques agricoles, et les pertes lors de l'usure des produits (par exemple, les vêtements libérant des fibres synthétiques) (Chakraborty et. al., 2022). Les plastiques sont transportés vers la mer par les grands fleuves, qui amassent ces déchets avant de se déverser dans les mers et océans. Du fait des courants, des interactions biologiques et du processus de dégradation, le plastique en surface migre petit à petit vers les eaux peu profondes, les fonds marins ou le rivage et est transporté à travers le monde. 98,8% de l'ensemble des déchets plastique qui ont fini dans les océans depuis les années 50 sont désormais fragmentés et ont coulé vers le fond (Atlas du plastique, 2020 ; Parker, 2019). Les 20% restants de la pollution plastique marine sont dus aux activités maritimes comme l'aquaculture, la pêche et le transport (Atlas du plastique, 2020).

Les poissons et les oiseaux sont directement exposés aux dangers des plastiques flottants : ils se prennent dedans ou les mangent en pensant qu'il s'agit de nourriture. Les emballages, notamment les anneaux et les cordons, sont particulièrement dangereux. Au moins 2249 organismes marins différents sont confrontés aux déchets plastiques partout dans le monde et sur les 120 espèces de mammifères marins qui figurent sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) des espèces menacées, 54 consomment des déchets plastiques ou se coincent dedans (Atlas du plastique, 2020).

Malgré leur persistance dans l'environnement, les gros débris de plastique primaire se décomposent également en fragments plus petits appelés microplastiques et nanoplastiques (Thompson et al. 2004). Une récente étude (Isobe et. al., 2021) révélait qu'il y aurait plus de 24,4 trillions (milliards de milliards) de microplastiques en suspension dans les océans (et non 5,5 trillions, comme estimé initialement), ce qui représenterait entre 82 000 et 578 000 tonnes.

Les microplastiques sont des particules ayant une taille allant de 0,1 micromètre (soit 0.0001 millimètre) à 5 millimètres. Les nanoplastiques mesurent quant à eux de 0,001 à 0,1 micromètres (soit 1 à 100 nanomètres) (EFSA, 2016).

De nombreuses études, résumées par Amelia et. al., 2021, montrent que les micro- et nanoplastiques affectent les écosystèmes et les organismes marins de diverses manières. Dans un écosystème marin typique, le microplastique agit comme un réservoir ou un vecteur, accumulant ainsi des contaminants chimiques, y compris les POP, les transportant sur de longues distances et entraînant une biodisponibilité élevée des polluants pour les organismes lorsqu'ils sont consommés. Le microplastique en lui-même sans polluant pose également divers risques directs et indirects pour divers organismes, notamment la translocation, le stress physiologique, l'altération du bilan énergétique, le métabolisme anormal, la réponse immunitaire, l'altération du comportement, la fécondité, l'inefficacité de l'égestion, les lésions intestinales graves et la mortalité. En plus d'avoir des effets physiologiques, les microplastiques ont des effets externes sur l'écosystème en modifiant la distribution de la nourriture et de la lumière pour les organismes (Amelia et. al., 2021).

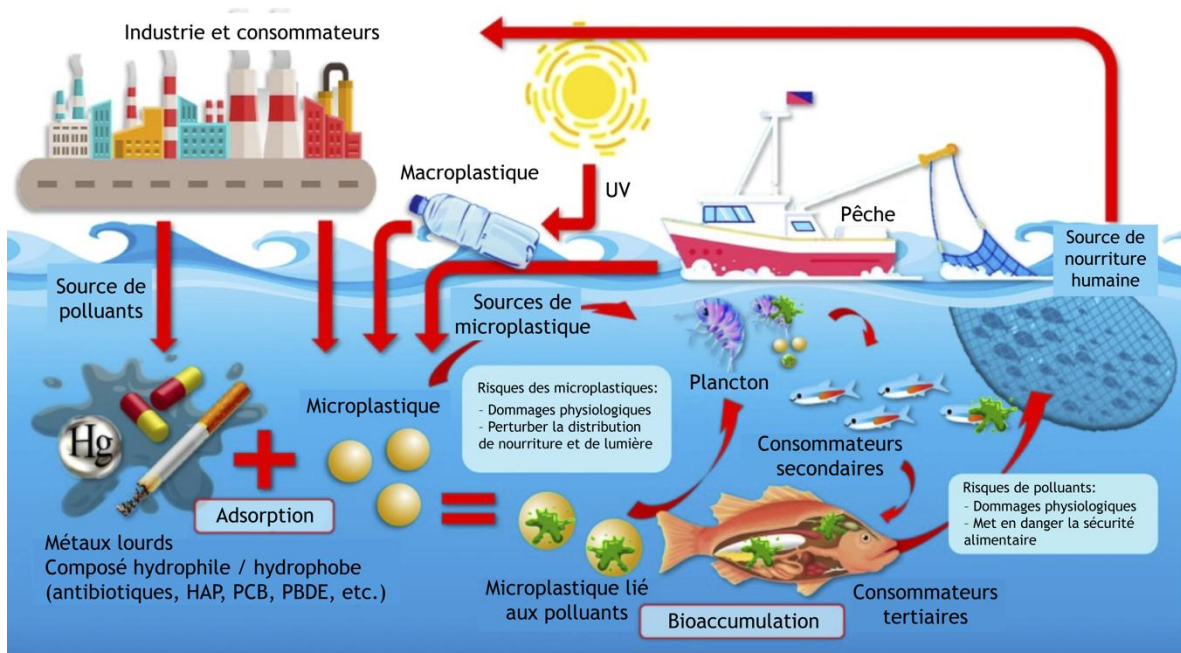


Figure 13 - Voies et impact général des microplastiques sur l'écosystème et les organismes marins  
©Amelia et.al., 2021 (traduit de l'anglais par UNITAR)

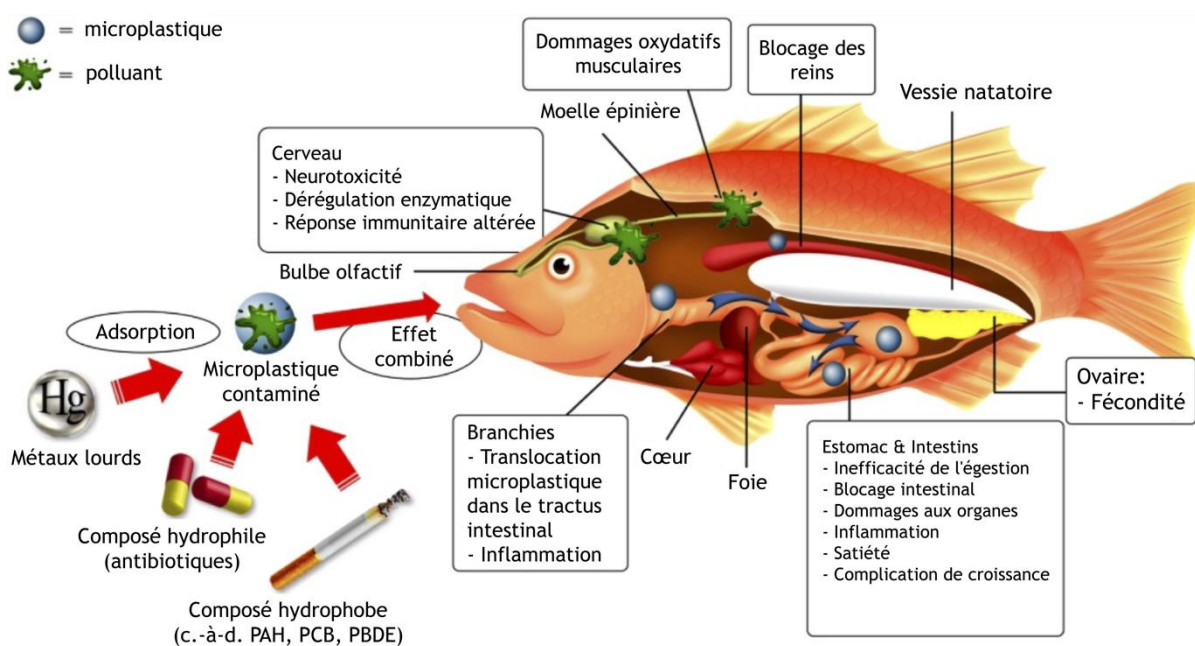


Figure 14 - Impacts et effets combinés des microplastiques et des polluants sur les organismes marins  
©Amelia et.al., 2021 (traduit de l'anglais par UNITAR)

En raison de leur taille, les microplastiques et les nanoplastiques pénètrent dans le corps des animaux par ingestion et inhalation. Les microplastiques ingérés peuvent bloquer le tube digestif, tandis que les microplastiques et les nanoplastiques peuvent contribuer à la charge corporelle chimique et provoquer des effets toxicologiques. De nombreuses études ont établi de manière concluante que ces plastiques sont entrés dans la chaîne alimentaire marine, introduisant ainsi la pollution microplastique et nanoplastique et sa pollution chimique associée dans les niveaux trophiques

supérieurs, y compris les humains. Des micro- et nanoplastiques ont été trouvés dans les selles humaines, le côlon, la salive, les cheveux, les poumons, le placenta et sur la peau (Tekman, 2022). Ils peuvent être introduits chez l'homme par inhalation ou par voie alimentaire via la consommation de fruits de mer, tels que le poisson et les crustacés (Amelia et.al., 2021). Si les études actuelles ne permettent pas de définir avec précisions les risques pour la santé humaine (Tekman, 2022 ; Amelia et.al., 2021 ; National geographic, 2018), elles confirment que les effets de l'exposition aux microplastiques et aux nanoplastiques diffèrent considérablement en fonction de : 1) la taille, du type et de la concentration des micro- et nanoplastiques, 2) la durée d'exposition et 3) l'espèce ou l'écosystème examiné (Tekman, 2022).

## 4. Aspects réglementaires de la gestion des déchets plastiques

Diverses classifications des déchets ont été développées au niveau international afin de distinguer les déchets en fonction de leur source, leur dangerosité et leur composition.

### 4.1 Classification des déchets plastiques dans la Convention de Bâle

La **Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination** (ratifiée par la Côte d'Ivoire en 1994) vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes des déchets dangereux. Les principaux objectifs et dispositions de cette convention sont les suivants :

- La réduction de la production de déchets dangereux et la promotion d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux, quel que soit le lieu d'élimination ;
- La restriction des mouvements transfrontières de déchets dangereux, sauf lorsqu'ils sont perçus comme étant conformes aux principes d'une gestion écologiquement rationnelle ; et
- Un système de réglementation applicable aux cas où les mouvements transfrontières sont autorisés (Convention de Bâle, 1989).

L'annexe I de la Convention énumère les déchets classés comme déchets dangereux et soumis à réglementation en vertu de la Convention. Elle est précisée par les annexes VIII et IX. L'annexe II recense les catégories de déchets nécessitant un examen spécial (il s'agit d'« autres déchets » qui consistent principalement en déchets ménagers).

Pendant la Conférence des Parties à la Convention de Bâle (COP, de l'anglais Conference of the Parties) en mai 2019, 187 pays ont décidé de limiter considérablement le commerce international de déchets plastiques afin de réduire l'élimination inappropriée de ces déchets et de diminuer leur pénétration dans l'environnement.

Par la décision BC-14/12, la COP a approuvé les changements suivants à trois annexes de la Convention concernant les déchets plastiques, effectif à partir du 1er janvier 2021<sup>8</sup> :

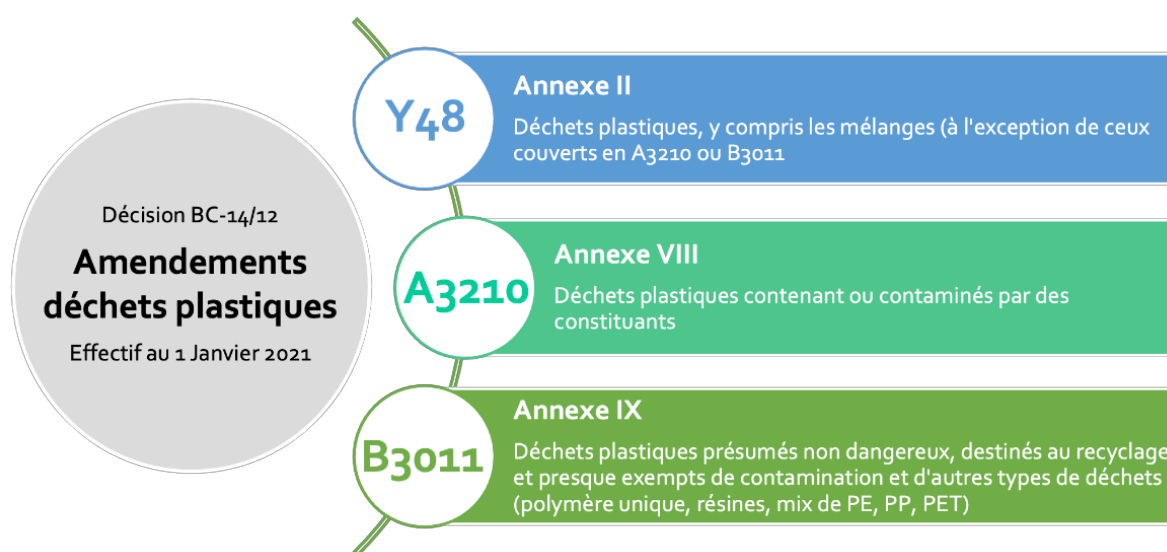
---

<sup>8</sup> Ces amendements ont été transcrits dans le droit européen par modification du règlement (CE) n° 1013/2006, entrée en vigueur également le 1er janvier 2021.

Code	Déchets plastiques couverts	Procédure pour les mouvements transfrontaliers
<b>Y48</b> (nouvelle entrée)	Couvre tous les déchets plastiques, y compris les mélanges de déchets plastiques, à l'exception des déchets plastiques couverts par les entrées A3210 (à l'annexe VIII) et B3011 (à annexe IX)	Annexe II (déchets nécessitant une attention particulière : soumis à la procédure PIC)
<b>A3210</b> (nouvelle entrée)	Couvre les déchets plastiques dangereux : déchets plastiques, y compris les mélanges de ces déchets, contenant ou contaminés par des constituants de l'annexe I, dans la mesure où ils présentent une caractéristique de l'annexe III (noter les entrées correspondantes Y48 à l'annexe II et sur liste B B3011)	Annexe VIII (déchets présumés dangereux : soumis à la procédure PIC)
<b>B3011</b> remplace l'entrée B3010	<p>Les déchets plastiques suivants ne sont pas soumis à la procédure PIC, à condition qu'ils soient destinés à être recyclés d'une manière écologiquement rationnelle et presque exempts de contamination et d'autres types de déchets :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchets plastiques constitués presque exclusivement d'un polymère non halogéné. Ces polymères comprennent mais ne se limitent pas au : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Polyéthylène (PE)</li> <li>○ Polypropylène (PP)</li> <li>○ Polystyrène (PS)</li> <li>○ Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)</li> <li>○ Polyéthylène téréphtalate (PET)</li> <li>○ Polycarbonates (PC)</li> <li>○ Polyéthers</li> </ul> </li> <li>• Déchets plastiques constitués presque exclusivement d'une résine polymérisée ou d'un produit de condensation. De telles résines comprennent mais ne se limitent pas au : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Résines d'urée formaldéhyde</li> <li>○ Résines phénol formaldéhyde</li> <li>○ Résines mélamine formaldéhyde</li> </ul> </li> </ul>	Annexe IX (déchet présumé non dangereux : non soumis à la procédure PIC)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Résines époxy</li> <li>○ Résines alkydes</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchets plastiques constitués presque exclusivement d'un des polymères fluorés suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Perfluoroéthylène/propylène (FEP)</li> <li>○ Alcanes perfluoroalcoxy :</li> <li>○ Éther de tétrafluoroéthylène/perfluoroalkyl vinylique (PFA)</li> <li>○ Tétrafluoroéthylène/éther perfluorométhylvinylique (MFA)</li> <li>○ Fluorure de polyvinyle (PVF)</li> <li>○ Fluorure de polyvinylidène (PVDF)</li> </ul> </li> </ul> <p>Les mélanges de déchets plastiques suivants ne seront pas non plus soumis à la procédure PIC :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mélanges de déchets plastiques, constitués de polyéthylène (PE), de polypropylène (PP) et/ou de polyéthylène téréphtalate (PET), à condition qu'ils soient destinés à un recyclage séparé de chaque matériau et d'une manière écologiquement rationnelle, et presque exempts de contamination et d'autres types de déchets.</li> </ul>	
--	--	--

**Tableau 3 - Classification des plastiques dans la Convention de Bâle (élaboration UNITAR à partir de Basel Convention, n.d. ; SEPA, 2020)**



**Figure 15** - Résumé des amendements déchets plastiques à la Convention de Bâle (élaboration UNITAR à partir du Secrétariat de la Convention de Bâle)

À la suite de ces amendements, dans le cadre du mouvement transfrontière de déchets, il faut observer une procédure de consentement préalable en connaissance de cause (dite procédure PIC de l'anglais Prior Informed Consent), selon la composition et le traitement des déchets plastiques importés et exportés. Les déchets plastiques couverts par les dispositions de la Convention de Bâle doivent faire l'objet d'un document de mouvements qui accompagne l'expédition, et d'un exemplaire du formulaire de notification et du consentement (WCO, 2020).

Le texte de la Convention de Bâle et ses Annexes mis à jour sont disponibles en français sur le site de la Convention :

<http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>



Une vidéo explicative de la Convention de Bâle est disponible ici : <https://www.pcb.unitar.org/additional-videos>

## 4.2 Système Harmonisé (SH codes)

Le **Système harmonisé de désignation et de codification des marchandises**, ou Système harmonisé (SH) (en anglais Harmonized System – HS), est une nomenclature internationale développée par l'Organisation mondiale des douanes (en anglais World Customs Organization – WCO) pour classer les produits échangés (y compris des déchets) au niveau international.

Dans ce système, les déchets plastiques sont couverts par le code 3915 « Déchets, rognure et débris de matières plastiques ».

## 4.3 Classification de l'Union européenne

Depuis que la Chine et d'autres pays d'Asie ont interdit les importations de la plupart des déchets plastiques, une partie des flux de déchets venus d'Europe se sont redirigés vers l'Afrique de l'Ouest, y compris la Côte d'Ivoire (Roméo, 2021). Il est donc utile de connaître la classification européenne des déchets afin de savoir s'ils sont ou non autorisés à transiter et sous quelles conditions ils peuvent être importés en Côte d'Ivoire.



Le **catalogue européen des déchets** est composé d'environ 650 codes répartis en 20 chapitres. Chaque chapitre du catalogue est subdivisé en sections. Le code lui-même est composé de six chiffres<sup>9</sup>. Une version consolidée de la liste (y compris en français) peut être trouvée ici : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02000D0532-20150601>

Code	Chapitre / Section / Type
02 01 04	<p><i>Chapitre 2</i> Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche ainsi que de la préparation et de la transformation des aliments</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 02 01</i> Déchets provenant de l'agriculture, de l'horticulture, de l'aquaculture, de la sylviculture, de la chasse et de la pêche</li> <li>↳ <b>Déchets de matières plastiques (à l'exclusion des emballages)</b></li> </ul>
07 02 13	<p><i>Chapitre 7</i> Déchets des procédés de la chimie organique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 07 02</i> Déchets provenant de la FFDU de matières plastiques, caoutchouc et fibres synthétiques</li> <li>↳ <b>Déchets plastiques</b></li> </ul>
12 01 05	<p><i>Chapitre 12</i> Déchets provenant de la mise en forme et du traitement physique et mécanique de surface des métaux et matières plastiques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 12 01</i> Déchets provenant de la mise en forme et du traitement mécanique et physique de surface des métaux et matières plastique</li> <li>↳ <b>Déchets de matières plastiques d'ébarbage et de tournage</b></li> </ul>
15 01 02	<p><i>Chapitre 15</i> Emballages et déchets d'emballages, absorbants, chiffons d'essuyage, matériaux filtrants et vêtements de protection non spécifiés ailleurs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 15 01</i> Emballages et déchets d'emballages (y compris les déchets d'emballages municipaux collectés séparément)</li> <li>↳ <b>Emballages en matières plastiques</b></li> </ul>
16 01 19	<p><i>Chapitre 16</i> Déchets non décrits ailleurs dans la liste</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 16 01</i> Véhicules hors d'usage de différents moyens de transport (y compris machines tous terrains) et déchets provenant du démontage de véhicules hors d'usage et de l'entretien de véhicules (sauf chapitres 13, 14, et sections 16 06 et 16 08)</li> <li>↳ <b>Matières plastiques</b></li> </ul>

<sup>9</sup> Une astérisque à côté du code indique que le déchet est considéré comme dangereux.

<p>17 02 03 17 02 04*</p>	<p><i>Chapitre 17</i> Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 17 02</i> Bois, verre et matières plastiques <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <b>Matières plastiques</b></li> <li>↳ <b>Bois, verre et matières plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminés par de telles substances</b></li> </ul> </li> </ul>
<p>19 12 04</p>	<p><i>Chapitre 19</i> Déchets provenant des installations de gestion des déchets, des stations d'épuration des eaux usées hors site et de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine et d'eau à usage industriel</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 19 12</i> Déchets provenant du traitement mécanique des déchets (par exemple, tri, broyage, compactage, granulation) non spécifiés ailleurs <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <b>Matières plastiques et caoutchouc</b></li> </ul> </li> </ul>
<p>20 01 39</p>	<p><i>Chapitre 20</i> Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations), y compris les fractions collectées séparément</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <i>Section 20 01</i> Fractions collectées séparément (sauf section 15 01) <ul style="list-style-type: none"> <li>↳ <b>Matières plastiques</b></li> </ul> </li> </ul>

**Tableau 4** - Classification des plastiques dans le catalogue européen des déchets (élaboration UNITAR)

## 5. Gestion écologiquement rationnelle des déchets plastiques

Un traitement approprié des plastiques permet de protéger l'environnement, ainsi que la santé et la sécurité des travailleurs et des communautés environnantes, et offre des opportunités de récupération des ressources et de la valeur en termes de pièces réutilisables et de matériaux recyclables.

### 5.1 Options de valorisation des déchets plastiques

Il existe plusieurs options de valorisation des déchets plastiques :

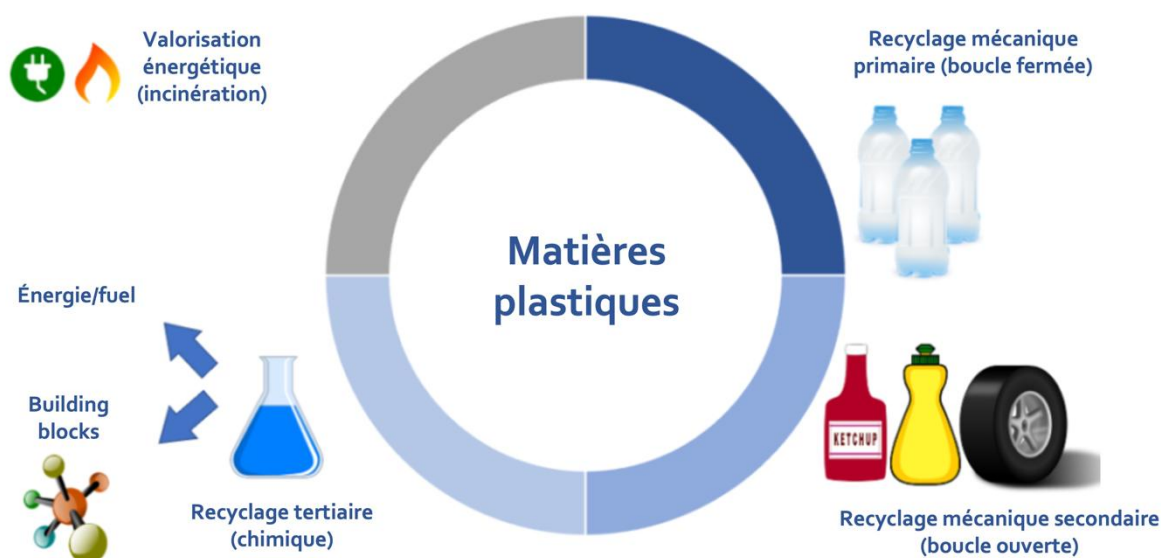


Figure 16 - Options de valorisation des déchets plastiques (élaboration UNITAR à partir de Richel, 2020)

#### 5.1.1 Recyclage mécanique

Le recyclage mécanique représente actuellement la quasi-totalité (99%) du recyclage des déchets thermoplastiques. Les plastiques collectés sont triés pour obtenir des familles de polymères homogènes qui sont ensuite retriés, lavés, broyés, extrudés et transformés en paillettes ou granulés. Ceux-ci peuvent être réutilisés sous la forme de matière première recyclée, ou matière première secondaire, sans que soit modifiée la structure du polymère (IFPEN, 2022).

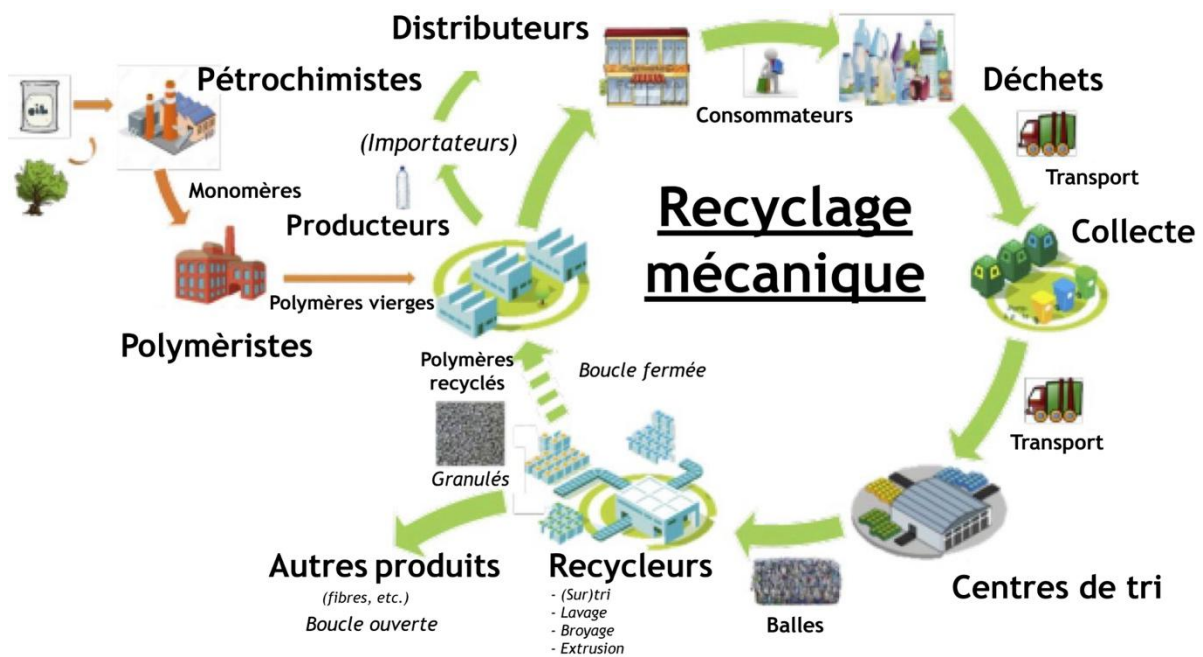


Figure 17 - Chaîne de valeur du plastique par recyclage mécanique ©IFPEN, 2022

Le recyclage mécanique connaît cependant des limites importantes :

- Les différentes étapes de tri et de séparation, ainsi que les procédés de régénération nécessaires au recyclage, sont complexes du fait de la diversité des résines polymériques et des pollutions externes.
- Le tri, lavage, broyage et extrusion ne débarrassent pas les polymères des pollutions internes causées par l'ajout des additifs. Seuls certains flux de déchets plastiques spécifiques peuvent être recyclés en boucle fermée, c'est-à-dire réutilisés pour faire le même type de produit (par exemple les bouteilles en plastique transparent à base de PET). Lorsque les granulés présentent des additifs d'origine variée, ils sont recyclés en boucle ouverte et utilisés pour d'autres applications.
- Les effets de températures associés aux différentes étapes du processus de recyclage peuvent aussi être à l'origine de dégradations de la matière première recyclée, ce qui limite le recyclage mécanique tel que réalisé actuellement. Par exemple, le recyclage d'une bouteille est limité à 7 cycles, après quoi la dégradation de la matière est trop importante (IFPEN, 2022).

### 5.1.2 Recyclage chimique

Développé dans les années 1990, le recyclage chimique représente seulement environ 1% des matières plastiques recyclées (et n'est actuellement pas disponible en Côte d'Ivoire) mais intéresse de nouveau les professionnels de la plasturgie pour sa capacité à produire un polymère réutilisable en boucle fermée, y compris pour les applications les plus exigeantes. Le recyclage chimique permet de

produire de nouvelles matières premières par modification de la structure chimique du polymère et purification de(s) produit(s) ainsi formé(s) grâce à divers procédés :

- La **dépolymérisation** consiste à revenir au monomère de base en découpant le polymère par solvolysé (usage de solvants) ou thermolysé (décomposition par augmentation importante de sa température).
- La **conversion** a recours à la pyrolyse ou à la gazéification pour produire des coupes hydrocarbures, réutilisées ensuite pour former (entre autres) des monomères vierges (IFPEN, 2022).

Les limites du recyclage chimiques sont principalement liées aux coûts élevés de ces technologies, c'est pourquoi certains industriels préfèrent pour le moment avoir recours à du plastique vierge, moins coûteux (IFPEN, 2022).

Des procédés de **dissolution** sont également développés pour récupérer des chaînes polymériques exemptes d'additifs. Bien que la structure chimique du polymère ne soit pas modifiée et qu'ils constituent donc en ce sens une extension du recyclage mécanique, ces procédés impliquent très largement des étapes chimiques et sont donc souvent également associés au recyclage chimique (IFPEN, 2022).

### 5.1.3 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique permet, via incinération, de récupérer de l'énergie. Si elle est souvent perçue comme l'option de « dernier recours », il faut noter que certains matériaux polymères ne peuvent être recyclés que par cette voie. Il en est ainsi pour les matériaux contaminés par des agents biologiques (p. ex. virus, sang, etc.) ou pour des matériaux complexes, fait de multiples couches ou intégrant de grandes proportions d'additifs pour lesquels les options de prétraitement (séparation des divers composants les uns des autres) induisent un coût prohibitif déraisonnable (Richel, 2020).

## 5.2 MTD/MPE dans la collecte, le transport, le stockage et la manutention

Le recyclage nécessite un certain volume de déchets pour assurer une certaine rentabilité, ce qui fait de la collecte une étape capitale de ce processus. En fonction du système mis en place, la collecte peut également permettre d'effectuer un premier tri.

### 5.2.1 Collecte

Les déchets plastiques ménagers peuvent être récupérés dans le cadre de programmes de collecte en apport volontaire ou en porte-à-porte. Les consignes données aux ménages et l'éventail des déchets plastiques collectés diffèrent d'un système à l'autre.

	Apport volontaire	Porte-à-porte
Principe	Les ménages viennent déposer les déchets dans un centre de groupage et/ou conteneurs placés dans les rues	Les plastiques sont collectés régulièrement devant chaque porte dans des poubelles ou sacs spéciaux
Techniques	Conteneurs et véhicules de collecte	Collecte dans des poubelles ou des sacs Plastiques collectés séparément ou avec d'autres produits recyclables
Avantages	Le processus de regroupement du gisement des déchets plastiques est initié par les ménages, ce qui rend la collecte plus facile Coûts limités, liés essentiellement à la mise en place des conteneurs	Bonne qualité du service Taux de récupération élevé
Contraintes	Faibles taux de récupération Effort supplémentaire pour les ménages	Coûts élevés de la collecte Fréquences variables des collectes

**Tableau 5 - Comparaison de la collecte par apport volontaire et de la collecte en porte-à-porte**  
(élaboration UNITAR à partir de UNEP, 2002)

La collecte par apport volontaire est assez simple, peu coûteuse et permet de récupérer des matériaux plastiques homogènes mais limités en termes de quantité. La collecte en porte-à-porte varie en termes de fréquence (hebdomadaire, mensuelle etc.), de matériel utilisé (véhicules normaux ou compartimentalisés) et de consignes données aux ménages (collecte séparée des plastiques recyclables ou collecte des matériaux recyclables en mélange). Elle est plus coûteuse mais permet un bon taux de récupération (UNEP, 2002). Plus d'information sur les coûts liés à la collecte sont donnés au [chapitre 6](#).

La collecte des déchets de l'industrie et de la distribution se fait généralement au moyen de grands conteneurs loués par le producteur de déchets et ramassés régulièrement par des opérateurs privés.

Le coût de la collecte par tonne est plus faible que pour les déchets ménagers et la qualité des matériaux collectés est généralement plus élevée (UNEP, 2002).



Il est important d'assurer la collecte de tous les types de plastiques, peu importe leur état et potentielle valeur marchande) pour éviter qu'ils ne finissent dans des dépôts sauvages ou brûlés à l'air libre.

Les collecteurs du secteur informel fournissent un réseau efficace et étendu pour la collecte, il est donc nécessaire de relier la collecte du secteur informel aux canaux formels de traitement.

### 5.2.2 Transport

Le transport de résidus plastiques mis en balles ou granulés exige une attention considérable pour ce qui est de la stabilité et de la protection du chargement.

- Les balles et les sacs doivent être empilés sur une hauteur ne dépassant pas 2,5 mètres.
- Le chargement doit être arrimé avec des cordes ou des bâches résistantes.
- Les chargements doivent être protégés du climat et du vandalisme lors du transport.
- Lors du déchargement des déchets plastiques, il faut veiller tout particulièrement à assurer la sûreté du personnel (UNEP, 2002).

### 5.2.3 Stockage

Plusieurs zones de stockage peuvent être nécessaires pour séparer le plastique entrant du plastique ayant subi divers traitements et du plastique recyclé prêt à la vente.

La zone de stockage des déchets devrait :

- Être entièrement consacrée aux déchets plastiques. Tous les secteurs devraient être accessibles aux matériels de manutention et aux véhicules de service d'urgence.
- Être sécurisée afin d'éviter les entrées non autorisées.
- Disposer de plusieurs sorties de secours bien signalées et facile à trouver (UNEP, 2002).

Pour le stockage des déchets, il est recommandé de :

- Stocker les plastiques broyés ou mis en balles destinés au recyclage sur des surfaces en béton propres.
- Placer les plastiques sur des palettes pour éviter la contamination par la poussière et la terre.
- Limiter la hauteur maximale d'empilage (par exemple pas plus de 3 balles superposées) afin d'éviter les risques pour le personnel en cas de chute d'une balle (UNEP, 2002).

Si les déchets plastiques sont stockés à l'intérieur, des systèmes anti-incendie (extincteurs automatiques à eau, bouches d'incendies, extincteurs portatifs) doivent être disponibles et facilement accessibles (UNEP, 2002).

Si les déchets de plastique sont stockés à l'extérieur, ils devraient :

- Être protégés de la contamination ou des dommages dus aux intempéries à l'aide de bâches ou d'un film de polyéthylène noir.
- Être protégés des rayons ultraviolets<sup>10</sup> en utilisant des protections et un temps de stockage adaptés en fonction du polymère (voir tableau ci-contre).

Type de polymère	Stockage maximal à l'extérieur non protégé
PET	6 mois
PEHD	1 mois
PVC	6 mois
PEBD	1 mois
PP	1 mois
PS	6 mois

*Tableau 6 - Dégradation des polymères à l'exposition aux ultraviolets solaires (UNEP, 2002)*

Les plastiques contenant des POP doivent être stockés dans des conteneurs dédiés, étiquetés et scellés, idéalement placés dans des zones spéciales pour ne pas être mélangés et ne pas contaminer d'autres fractions (UNEP, 2002).

#### 5.2.4 Manutention

Les déchets de matériaux de tous types, dangereux ou non, doivent être manipulés de façon à minimiser les risques pour la santé humaine.

- Les déchets plastiques en vrac doivent être compressés en balles ou en sacs.
- Les fractions de déchets plastiques (flocons, granulés, etc.) doivent être enfermés dans de grands sacs ou des conteneurs.

Les employés devraient :

- Revêtir des vêtements de protection appropriés.
- Être formés à la manutention sûre de containers gros et lourds.
- Être équipés de matériels de manutention tels que bourriquets, transpalettes et chariots élévateurs.

<sup>10</sup> Les polymères se dégradent lorsqu'ils sont exposés de façon prolongée à la lumière ultraviolette qui conduit à une dégradation de leurs propriétés physiques et chimiques.



### 5.3 Méthodes analytiques pour caractériser les matières plastiques et leurs contaminants

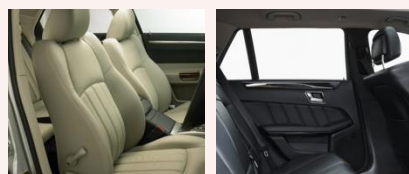
Le recyclage mécanique n'est effectif que sur des matières plastiques triées « pures ». Le traitement de matières trop hétérogènes est problématique d'un point de vue technique (Richel, 2020). L'amélioration du tri des déchets plastiques représente donc une étape très importante pour une valorisation optimale de ce flux de déchets. Les plastiques peuvent être triés à partir de matériaux non plastiques avant d'être collectés ou ils peuvent être extraits après la collecte d'un gisement de déchets mixtes (UNEP, 2002).

Les plastiques DEEE et VFV peuvent contenir divers additifs potentiellement dangereux pour la santé humaine et l'environnement, notamment les retardateurs de flamme bromés et les pigments (voir [chapitre 3](#)). Si la caractérisation des matières plastiques et leurs contaminants nécessite la mise en œuvre de méthodes manuelles ou mécaniques (décrites ci-dessous), un premier tri peut être effectué en suivant les points clés suivants :

**Les plastiques de couleur rouge, orange et jaune peuvent contenir des pigments à base de plomb ou de cadmium.** Lorsque la présence de ces métaux lourds est suspectée, les pièces en plastique doivent être retirées du processus de recyclage.



**Les plastiques en contact avec la chaleur contiennent souvent des retardateurs de flammes.** Dans les plastique EEE, les retardateurs de flamme sont souvent utilisés en raison de la présence de courants électriques et de composants internes générant de la chaleur. C'est notamment le cas pour les câbles, les interrupteurs et les disjoncteurs, les cartes de circuits imprimés, et les boîtiers extérieurs. Ainsi, on trouve souvent des niveaux élevés de RFB dans les boîtiers en plastique des écrans, les équipements informatiques et les petits appareils électroniques (Bill et al. 2019). En termes de type de plastique, les RFB sont surtout présents dans les plastiques ABS et HIPS (Sofies, 2019).



Dans les véhicules, les RFB se retrouvent principalement dans les matériaux de rembourrage

de véhicules (notamment la mousse polyuréthane (PUR)) dans les sièges), les pièces électroniques et leurs boîtiers, et certaines pièces de carrosserie (Mehlhart et. al., 2018 ; UNEP et Convention de Stockholm Convention, 2017).

**Les plastiques transparents ou n'étant pas en contact avec la chaleur sont souvent libres de POP ou métaux lourds.** C'est le cas notamment des gros appareils ménagers (p.ex. réfrigérateurs, lave-linge, lave-vaisselle, climatiseur, etc.). Ces plastiques atteignent des prix plus élevés sur le marché.



La figure ci-dessous propose une méthodologie simplifiée pour le tri des plastiques :

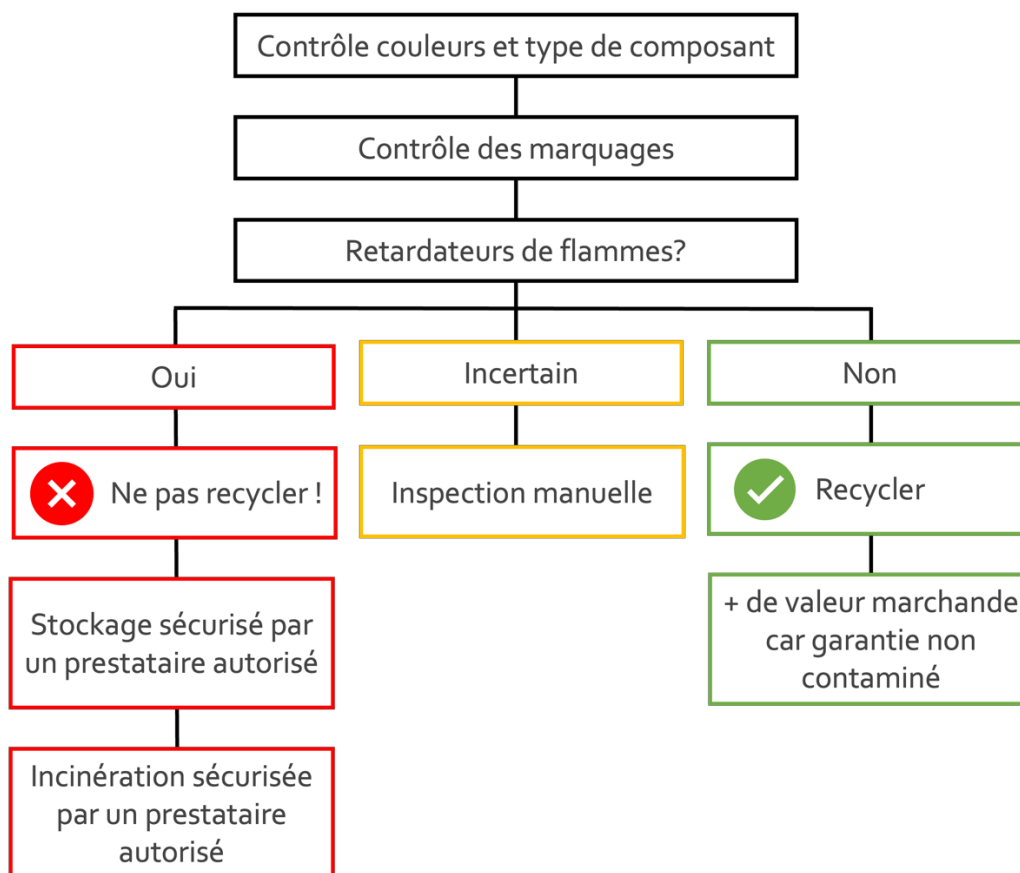


Figure 18 - Marche à suivre pour le tri des plastiques

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées afin de récupérer différents polymères (par exemple PS, PP, PE, ABS, etc.) et pour identifier et séparer les flux de déchets plastiques riches en brome pendant les opérations de recyclage :

- **Méthodes manuelles** qui exigent l'inspection de chaque plastique individuellement, généralement avant le déchiquetage, soit entièrement manuellement (sur la base des marquages ou sur la source (produit) du plastique), soit semi-manuellement (à l'aide d'instruments portatifs) ;
- **Méthodes mécaniques / automatisées** qui peuvent être exécutées par lots ou en continu, généralement après le déchiquetage (Haarman and Gasser, 2016).

Le tableau ci-dessous présente diverses méthodes d'identification et de séparation des plastiques RFB. D'autres techniques de séparation et d'identification des plastiques en général sont disponibles en Annexe 3.

	Méthode	Raisonnement	Précision	Prix (USD)	Préoccupations EHS
Manuelle	Visuel (marquages)	Indication « RF » sur les pièces	Insuffisante	Gratuit (prix de main d'œuvre)	Aucun
	Combinaison tests propriétés physiques et évier-flotteur	Différents types de plastique ont des propriétés physiques différentes et le plastique contenant du Brome a une densité plus élevée	Moyenne	Négligeable	Aucun
	Spectrométrie à étincelles glissantes (portable)	L'étincelle évapore le plastique, les éléments libèrent des spectres optiques spécifiques	Suffisante pour le tri	~6'000	Formation de fumées potentiellement dangereuses
Mécanique / automatisée	Spectrométrie de fluorescence des rayons X (portable)	Les rayons X absorbés sont réémis selon les raies spectrales	Très élevée	~30'000-50'000	Manipulation incorrecte de l'appareil
	Spectroscopie plasma induite par laser (portable)	Une impulsion laser enlève une partie du matériau de surface qui est analysé à l'aide d'une spectrométrie optique ou de masse	Très élevée	~35'000	

	Transmission par rayons X (en ligne)	Absorbance du spectre de rayons X par les éléments, la pression d'air dirigée élimine les particules	Très élevée	~500'000	Aucun
	Évier-flotteur	Le plastique contenant du Brome a une densité plus élevée	Moyenne	~10-100'000	
	Séparateur électrostatique	Les plastiques réagissent différemment à la charge électrostatique	Très élevée	~5 000 et 30 000 (faible-moyen volume) ~80 000 et 500 000 (volume élevé)	Risques limités liés à l'électricité statique (feu, explosion)
	Identification et tri entièrement automatisés	Combinaison de diverses technologies (p. ex., capteurs optiques, XRT, etc.)	Très élevée	~500'000-1'500'000	Aucun

**Tableau 7 - Méthodes d'identification et de séparation des plastiques RFB (élaboration UNITAR à partir de Haarman and Gasser, 2016 ; Bill et. al., 2019)**

Dans le secteur informel – où les méthodes disponibles sont réduites – il est possible d'utiliser des tests simples qui peuvent être effectués manuellement. Si une entreprise traite régulièrement de grandes quantités de déchets plastiques et a accès au financement nécessaire, l'utilisation de technologies avancées d'identification et de tri peut devenir économiquement intéressante. C'est particulièrement le cas dans les contextes où les coûts de main-d'œuvre sont élevés, car l'utilisation de ces technologies réduit le processus de tri manuel (Bill et. al., 2019).



La vidéo suivante met en pratique certaines méthodes manuelle décrites dans le tableau ci-dessus et dans les explications ci-dessous :

<https://www.youtube.com/watch?v=MQ6spBgAN2M>

### 5.3.1 Inspection visuelle / marquage ISO

Une méthode manuelle utile et rapide consiste à inspecter visuellement la présence de plastiques RFB. Il est possible d'identifier le type de plastique et le risque de POP à partir de ses marquages qui incluent la date de fabrication et le système de marquage ISO. Tous les plastiques contenant des retardateurs de flamme qui ont été ajoutés intentionnellement ou qui dépassent 1% en poids doivent inclure le code ignifuge, comme présenté dans le format ci-dessous (Haarman and Gasser, 2016) :

# >PP-GF30-P(ELO)FR(52)<

La 1<sup>ère</sup> séquence (PP) indique le type de matériel – polymère

La 2<sup>nd</sup>e séquence (GF30) indique la matière de remplissage et sa proportion  
(GF = Glass Fiber ; 30 = 30%)

La 3<sup>ème</sup> séquence (P(ELO)) indique le plastifiant

**La 4<sup>ème</sup> séquence (FR(52)) indique le type de retardateurs de flammes**

Les codes des retardateurs de flamme les plus couramment utilisés (codes ISO 1043) sont énumérés dans le tableau ci-dessous. Les retardateurs de flammes bromés sont indiqués en gras (Haarman and Gasser, 2016).

Type	Code	Description
Composés halogénés	<b>14</b>	Composés bromés aliphatiques/alicycliques
	<b>15</b>	Composés bromés aliphatiques/alicycliques en combinaison avec un composé d'antimoine
	<b>16</b>	Composés aromatiques bromés (à l'exclusion du diphényléther bromé et des biphényles)
	<b>17</b>	Composés aromatiques bromés (à l'exclusion du diphényléther bromé et des biphényles) en association avec un composé d'antimoine
	<b>18</b>	Éther diphénylique polybromé
	<b>19</b>	Éther diphénylique polybromé en combinaison avec un composé d'antimoine
	<b>20</b>	Biphényles polybromés
	<b>21</b>	Biphényles polybromés en combinaison avec un composé d'antimoine
	<b>22</b>	Composés chlorés et bromés aliphatiques/alicycliques
	25	Composés fluorés aliphatiques
Composés azotés	30	Composés azotés (confinés à la mélamine, cyanurate de mélamine, urée)
	40	Composés phosphorés organiques sans halogène

Composés phosphorés organiques	41	Composés phosphorés organiques chlorés
	42	Composés phosphorés organiques bromés
Composés phosphorés inorganiques	50	Orthophosphates d'ammonium
	51	Polyphosphates d'ammonium
	52	Phosphore rouge
Oxydes métalliques, hydroxydes métalliques, sels métalliques	60	Hydroxyde d'aluminium
	61	Hydroxyde de magnésium
	62	Trioxyde d'antimoine

**Tableau 8 - Codes ISO 1043 pour les retardateurs de flamme couramment utilisés (ISO, 1988 ; Haarman and Gasser, 2016)**

Il peut arriver que les plastiques soient non marqués, mal marqués ou ne présentent que des étiquettes incomplètes. Les informations obtenues à partir d'un marquage ISO doivent donc être utilisées avec prudence (Bill et. al, 2019).

### 5.3.2 Combinaison tests des propriétés physiques et tests évier-flotteur en eau douce et eau salée<sup>11</sup>

Différents types de plastiques ont des propriétés physiques différentes, en termes de :

- Réaction à des solvants spécifiques - tous les plastiques ne réagissent pas de la même manière aux solvants. Les tests du limonène et à l'acétone décrits ci-dessous sont basés sur des solvants disponibles dans le commerce et non dangereux qui peuvent être utilisés pour identifier certains types de plastique.
- Flexibilité/cassabilité.
- Dureté.
- Densité.
- Sonorité - les plastiques ont un son distinctif lorsqu'ils sont frappés. Les sons étant difficiles à décrire, il est préférable d'essayer par soi-même avec des plastiques de type connu. Ce type de test fonctionne mieux avec des pièces plus grandes (par exemple des boîtiers entiers).

<sup>11</sup> Section élaborée à partir de Bill et. al, 2019.

Les Laboratoires fédéraux suisses pour la science et la technologie des matériaux (Empa) ont développé une méthodologie pour identifier systématiquement les principaux types de plastique et détecter la présence de RFB (Haarman and Gasser, 2016) basée sur les tests des propriétés physiques et évier-flotteur (voir [section 5.3.7](#) pour une description détaillée de cette méthode). Cette méthodologie peut être utilisée pour identifier des pièces en plastique spécifiques et ainsi obtenir des informations sur le produit de départ et pour former les travailleurs du démantèlement et du tri à reconnaître et séparer les principaux types de plastique (Bill et. al, 2019).

Les explications suivantes, couplées à la figure ci-dessous donnent une vue d'ensemble de la méthodologie Empa.

### Test du limonène ①

Le limonène est un solvant naturel présent principalement dans la peau de certaines plantes et fruits, notamment les citrons et les oranges. Seuls le PS et le HIPS réagissent avec le limonène. Lorsque quelques gouttes de limonène sont appliquées sur ces plastiques, ils se dissolvent lentement et deviennent collants après 2-3 secondes.

### Test de rupture ②

Un simple test de rupture permet de distinguer certains plastiques. Le PS est rigide et se casse facilement. Le HIPS se plie et montrera des marques blanches à la rupture, mais il est difficile de le casser réellement.

### Test à l'acétone ③

L'acétone est un autre solvant disponible dans le commerce. Il est moins sélectif que le limonène et réagit avec le PS, HIPS, ABS, ABS+PC et PC. Lorsque l'acétone est appliquée sur le PS, HIPS ou ABS, les plastiques se dissolvent et deviennent collants après 2-3 secondes. L'ABS/PC devient également collant, mais un dépôt blanc se forme en plus en raison de la présence de PC. Dans le cas du PC pur, seul le dépôt blanc se forme mais le plastique ne devient pas collant.

Les plastiques qui n'ont pas réagi avec le limonène (ABS, ABS/PC et PC) peuvent donc être distingués en fonction de leur réaction à l'acétone.

### Test évier-flotteur en eau douce (densité 1,0 kg/l) ④

Un test d'immersion/flottement en eau douce est appliqué sur les plastiques restants. La fraction flottante est constituée de plastiques légers (PP et PE). Les plastiques qui n'ont réagi à aucun des solvants et coulent dans l'eau douce ne font pas partie des principaux plastiques et ne sont pas identifiés avec cette méthode.

### Test de rayure ⑤

Les plastiques PE et PP flottent dans l'eau douce. Pour les distinguer, un test de rayure peut être utilisé. Le PE est plus doux et peut facilement être rayé avec un ongle. Le PP est plus dur et est donc plus difficile à rayer.

### Test évier-flotteur en eau salée (densité 1,1 kg/l) ⑥

Certains des plastiques ABS et HIPS, précédemment identifiés à l'aide de solvants, contiennent des RFB dangereux et doivent être éliminés. Ceci peut être réalisé à l'aide d'un test d'évier/flotteur dans de l'eau salée. En présence de RFB, le plastique est plus lourd et coule dans l'eau salée d'une densité de 1,1 kg/l. L'ABS ou le HIPS sans RFB, par contre, flotteront dans cette solution.



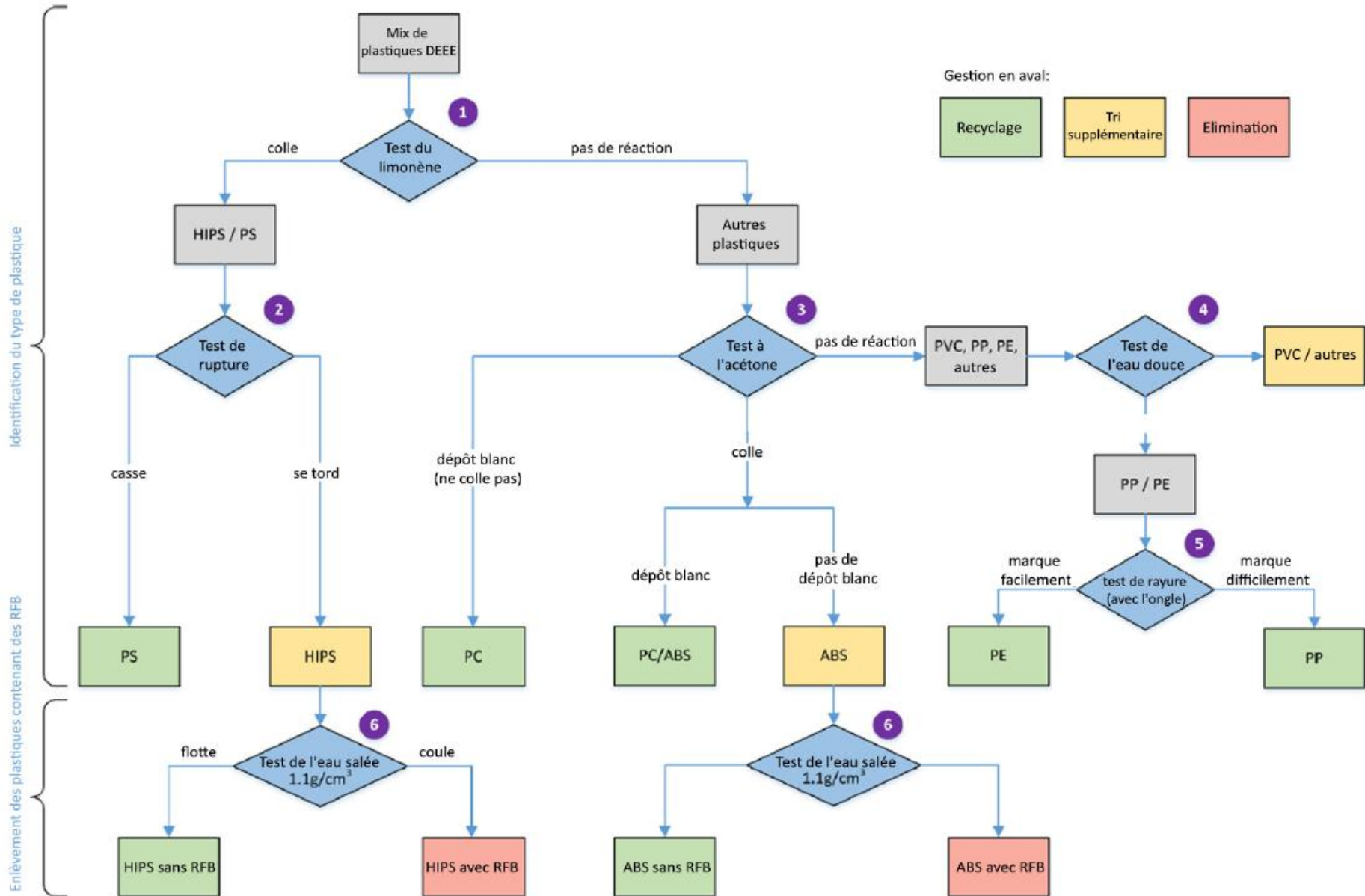


Figure 19 - Identification systématique des plastiques (Bill et. al., 2019)

### 5.3.3 Spectrométrie à étincelles glissantes

La spectrométrie à étincelles glissantes (de l'anglais Sliding-Spark Spectrometry - SSS) permet de détecter rapidement le brome, le chlore et les additifs inorganiques au-dessus d'environ 1000 ppm. Le principe de base de la SSS est la vaporisation thermique d'une petite quantité de plastique à la surface à l'aide d'un train d'étincelles glissantes à courant élevé définies. Les composants matériels du plasma d'étincelle sont vaporisés, atomisés et activés pour émettre de la lumière. Des éléments tels que le chlore et le brome émettent des rayonnements caractéristiques dans les spectres optiques, dont les intensités indiquent les concentrations de ces éléments. Des instruments SSS portables simples sont disponibles dans le commerce (à environ 6 000 USD) et permettent une analyse rapide (environ 1 seconde par échantillon) et sur site des pièces en plastique sans aucune préparation d'échantillon requise, à l'exception de l'élimination de la poussière, de la saleté ou des autocollants. La SSS est largement utilisée pour identifier les plastiques RFB car elle est relativement peu coûteuse et nécessite une moindre formation par rapport à d'autres techniques mécaniques alternatives, mais elle nécessite beaucoup d'entretien.

De petites quantités de fumées sont produites lorsque des étincelles sont fournies, dont la composition est inconnue. Il est cependant possible que, lorsque les plastiques RFB sont enflammés, ces fumées contiennent des substances toxiques telles que les dioxines et les furanes bromés. Une bonne ventilation du lieu de travail est généralement suffisante pour limiter l'exposition des travailleurs (Haarman and Gasser, 2016).

### 5.3.4 Spectrométrie de fluorescence des rayons X

La spectrométrie de fluorescence des rayons X (de l'anglais X-ray fluorescence - XRF) est une technique analytique non destructive utilisée pour déterminer la composition élémentaire des matériaux, en particulier la teneur en éléments lourds. Elle détermine la chimie d'un échantillon en mesurant le spectre des rayons X caractéristiques émis par les différents éléments de l'échantillon lorsqu'il est éclairé par des photons de haute énergie (rayons X ou rayons gamma). Des instruments XRF portables sont disponibles dans le commerce (entre 30,000 USD et 50,000 USD) pour la quantification des atomes lourds tels que le brome, le plomb, le cadmium, le mercure et le chrome, avec une limite de détection de 10 ppm à 100 ppm et un temps de mesure inférieur à un minute par échantillon. En comparaison avec le SSS, la technologie XRF est plus coûteuse mais plus précise, permettant la détection des plastiques où la présence de RFB n'est pas intentionnelle et due à une contamination croisée lors des processus de recyclage précédents (de l'ordre de 100 à 1000 ppm). Les exigences de préparation des échantillons sont similaires à celles du SSS (élimination de la poussière, de la saleté ou des autocollants).

Les rayons X sont très dangereux pour la santé humaine et une mauvaise manipulation des appareils XRF pourrait être très préjudiciable. Les utilisateurs potentiels doivent donc être formés pour minimiser les risques d'exposition, et l'analyse XRF ne doit être effectuée que dans des conditions sûres (Haarman and Gasser, 2016).

### 5.3.5 Spectroscopie de plasma induite par laser

La spectroscopie de plasma induit par laser (de l'anglais Laser Induced Breakdown Spectroscopy - LIBS) permet de déterminer la composition élémentaire d'échantillons solides, liquides ou gazeux. Un puissant faisceau laser est focalisé sur la surface de l'échantillon en évapore une petite quantité et l'excite dans le plasma. Les lignes spectrales émises, dans la zone ultraviolette, décrivent la composition élémentaire de l'échantillon. La LIBS détecte le brome dans les échantillons de plastique au-dessus d'une teneur de 1,5%. Les instruments portables sont disponibles à environ 35,000 USD, ils nécessitent une préparation minimale de l'échantillon et permettant une analyse rapide. Comme elle n'utilise pas de rayonnement ionisant, la LIBS peut être considérée comme plus sûre que la XRF. Elle produit cependant de puissants faisceaux laser qui peuvent être dangereux pour la vue des utilisateurs qui doivent être formés pour minimiser l'exposition.



Les dispositifs portables SSS, XRF et LISB sont efficaces et précis et peuvent identifier de nombreux plastiques et additifs différents. Mais en raison des dangers potentiels pour la santé, des coûts élevés, des besoins de maintenance et de la relative complexité, ils ne sont pas adaptés pour être utilisés dans les petites entreprises informelles de recyclage du plastique à faible capital (Bill et. al., 2019 ; Haarman and Gasser, 2016).

### 5.3.6 Transmission par rayons X

La transmission par rayons X (de l'anglais x-ray transmission – XRT) utilise un traitement d'image par transmission de rayons X haute résolution pour séparer les matériaux et les flux de déchets en fonction d'une densité atomique spécifique. Contrairement aux instruments de criblage portables tels que SSS, XRF et LIBS, XRT est utilisé pour trier automatiquement les déchets. Les machines de tri XRT en ligne sont disponibles à environ 400,000 USD et sont capables de trier jusqu'à 1 tonne par heure. La technologie est utilisée dans les unités de recyclage européennes.

Outre son utilisation potentielle pour séparer les plastiques RFB, les machines de tri XRT peuvent être utilisées pour séparer et isoler différents matériaux et fractions (par exemple, métaux ferreux, verre CRT, aluminium, etc.). Son coût élevé interdit cependant son utilisation dans des opérations de recyclage à petite échelle, même celles des pays industrialisés (Haarman and Gasser, 2016).

### 5.3.7 Évier-flotteur

La densité d'un plastique dépend de son type et de la présence de certains additifs. Il est possible d'utiliser ces caractéristiques pour séparer les plastiques plus légers des plus lourds. En eau douce par exemple (densité = 1,0 kg/l), seuls les plastiques très légers flottent, tandis que les plastiques moyens et lourds coulent. L'ajout de sel à l'eau augmentera la densité de la solution et fera également flotter

des plastiques légèrement plus lourds. Les plages de densité de la figure ci-dessous peuvent être utilisées pour déterminer quels plastiques flotteront dans une solution spécifique et concevoir des tests d'évier/flotteur pour séparer les types de plastique de différentes densités. Le test d'évier/flotteur ne nécessite qu'un seau, de l'eau et du sel. La partie délicate consiste à produire une solution avec la bonne densité. Une façon de faire est d'ajouter une quantité prédéfinie de sel à l'eau. Une solution d'une densité de 1,1 kg/l, par exemple, peut être obtenue en ajoutant l'un des sels suivants disponibles dans le commerce par litre d'eau :

- 150 grammes de sel de table (NaCl) ou
- 180 grammes de potasse (KCl) ou
- 110 grammes d'engrais de magnésium (MgSO<sub>4</sub>)

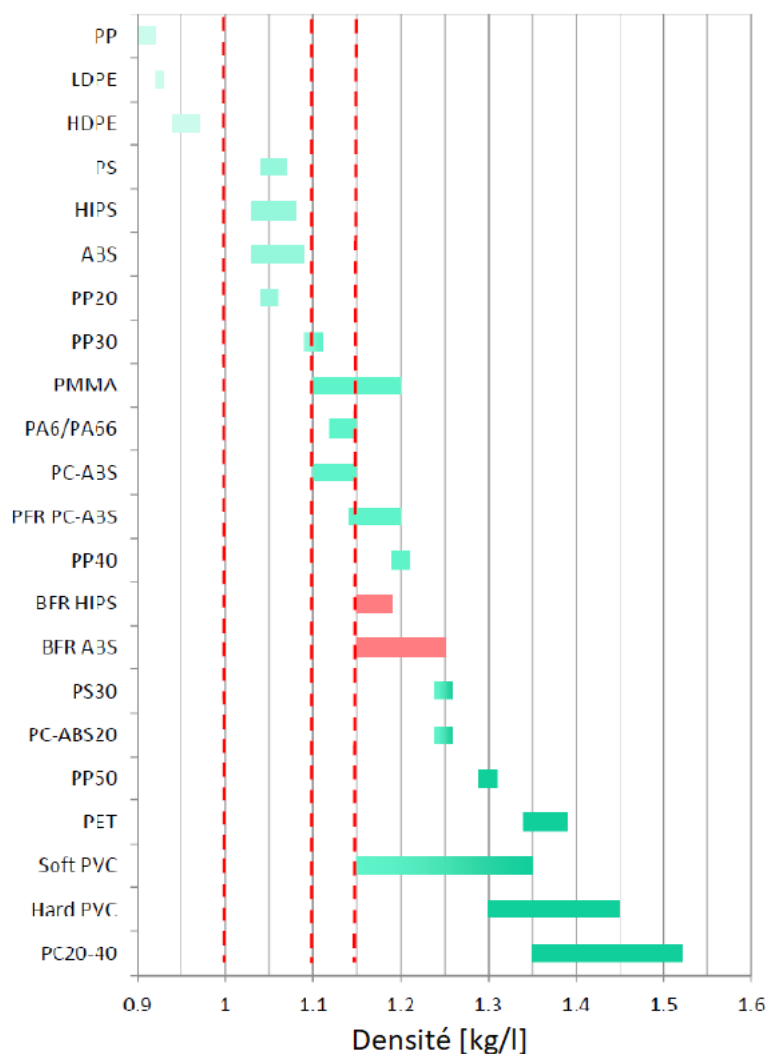


Figure 20 - Plages de densité de plastiques sélectionnés (Bill et. al., 2019)

Alternativement, un hydromètre (voir figure ci-contre) peut être utilisé pour préparer des solutions d'eau salée. Les hydromètres flottent à des niveaux spécifiques en fonction de la densité de la solution. Ils peuvent être utilisés pour préparer des solutions de n'importe quelle densité à base de n'importe lequel des sels mentionnés ci-dessus. De plus, des hydromètres peuvent être utilisés pour surveiller la solution dans les tests d'évier/flotteur. Ceci est particulièrement utile car la densité de la solution peut changer avec la température et en raison de l'introduction de saleté et d'autres corps étrangers. La surveillance et l'ajustement continus de la densité (en ajoutant plus de sel ou d'eau) conduisent à de meilleurs résultats dans la séparation des plastiques. Des hydromètres bon marché se trouvent facilement en vente en ligne (Bill et. al., 2019).



Figure 21 - Hydromètre

La figure ci-dessous montre deux applications pratiques pour les tests d'évier/flotteur : la première pour séparer différents types de plastiques ; la seconde pour séparer les fractions contenant des RFB des fractions sans RFB. Sur la base des plages de densité de plastique (mentionnées au-dessus), ces processus peuvent également être adaptés et développés davantage afin de cibler d'autres types de plastique (Bill et. al., 2019).

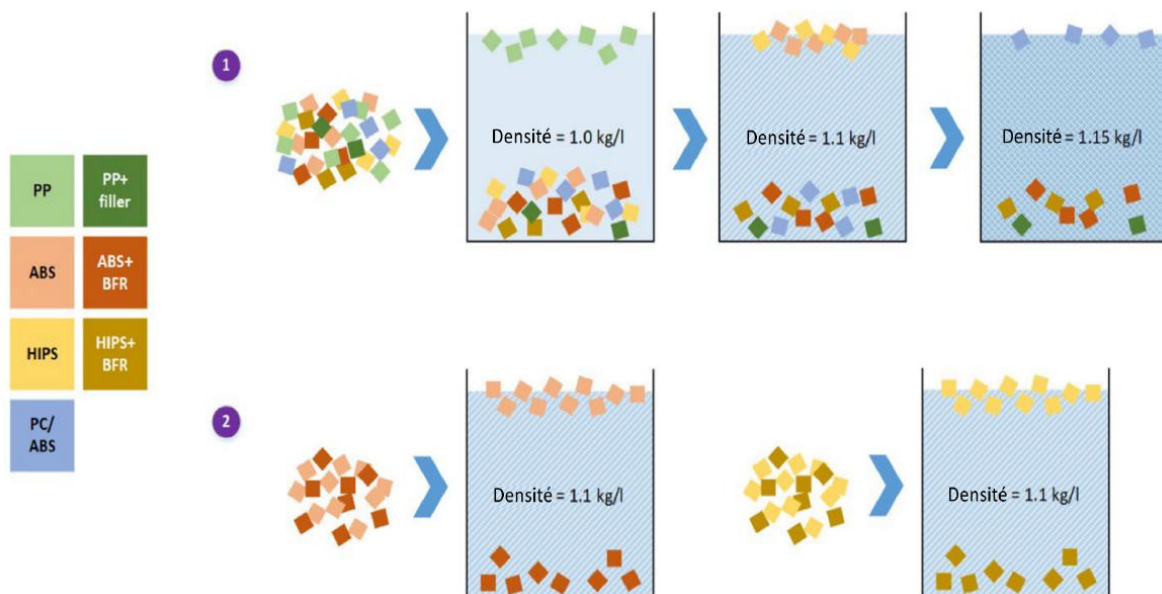


Figure 22 - Applications pratiques des tests évier/flotteur pour le tri des plastiques (Bill et. al., 2019)

### 5.3.8 Identification et tri semi-automatisé par électrostatique

Les plastiques réagissent différemment à la charge électrostatique. Les séparateurs électrostatiques utilisent cette propriété pour trier automatiquement les plastiques. Ces séparateurs peuvent souvent traiter plus de 1000 kg de plastiques par heure. Cependant, ils nécessitent une entrée prétriée (c'est-à-dire que les meilleurs résultats sont obtenus avec seulement deux types de plastique) de taille homogène (c'est-à-dire que les plastiques doivent être déchiquetés à l'avance). Les séparateurs électrostatiques nécessitent un certain espace de fonctionnement et entraînent des coûts de fonctionnement continus en raison de la consommation d'énergie. Investir dans un tel appareil n'a de sens que si des débits constants et élevés doivent être traités. Cette technologie est également sensible à l'humidité et à certains sels. Lorsque vous combinez des méthodes d'évier/flotteur avec une séparation électrostatique, le sel de table (NaCl) et la potasse (KCl) ne doivent pas être utilisés et seuls des matériaux bien séchés doivent être introduits dans la machine (Bill et. al., 2019).

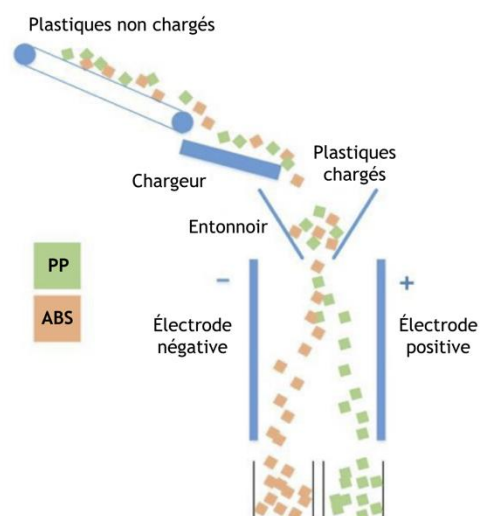


Figure 23 - Séparation du plastique par électrostatique (Bill et. al., 2019)

### 5.3.9 Identification et tri entièrement automatisés

Les lignes de traitement entièrement automatisées combinent diverses technologies (par exemple, capteurs optiques, technologie XRT, etc.) qui permettent un tri automatique des plastiques par type, couleur et teneur en additif. Une telle installation est très efficace mais aussi très coûteuse et ne doit être envisagée que dans des situations où le coût du tri manuel est très élevé et les moyens financiers suffisants pour couvrir l'investissement important (Bill et. al., 2019).



La vidéo suivante dévoile les étapes de recyclage du PET sur des lignes de traitement entièrement automatisées : [https://youtu.be/4\\_q-sGAIVAo](https://youtu.be/4_q-sGAIVAo)

### 5.3.10 Approche conservatrice

Si les plastiques suspectés de contenir des ignifugeants bromés n'ont pas été séparés ou si la teneur en brome n'a pas été évaluée à l'aide d'une méthode appropriée, le plastique doit être considéré comme contenant des ignifugeants bromés et mis en décharge ou incinéré dans des conditions spéciales (voir [section 5.5.2](#)). De même, une fraction contenant des ignifugeants bromés doit être traitée comme un déchet POP, sauf s'il peut être prouvé qu'elle ne contient pas de POP.

## 5.4 MTD/MPE pour le traitement du plastique

### 5.4.1 Installation de traitement des déchets plastiques

Les plastiques ne doivent être gérés que par des centres de traitement agréés, qui doivent avoir la capacité de traiter ces déchets conformément aux directives environnementales et de sécurité appropriées.

#### Zones de travail

Un centre de traitement du plastique devrait avoir :

- Un espace de bureau (pour les tâches administratives telles que la tenue de registres, garantir des procédures opérationnelles standard, des séances d'information des employés, des plans de gestion environnementale, etc.) ;
- Une zone de réception (pour stocker temporairement les plastiques entrants avant le tri) ;
- Différentes zones de travail spécifique (tri manuel et/ou mécanique, mise en balle, déchiquetage, lavage, extrusion, etc.) ; et
- Une ou plusieurs zones de stockage.

Une attention particulière doit être portée au flux interne de matière : de la pondération de la matière entrante, au stockage intermédiaire avant le traitement, aux différentes étapes du traitement et enfin au stockage des fractions résultantes. L'aménagement doit être planifié de manière à éviter les dommages et la pollution dus aux fuites ou à la corrosion pendant les opérations, le stockage et le transport.

## Gestion du site

L'établissement doit disposer d'un personnel responsable (propriétaire ou gestionnaire) ayant les tâches suivantes :

- Assurer l'inspection appropriée du site, des différentes zones de travail, des outils et des machines. Les inspections doivent être régulières et les enregistrements des résultats d'inspection doivent être conservés correctement.
- Gérer le personnel travaillant dans l'installation. Le personnel doit être suffisamment formé sur les procédures d'exploitation, les bonnes pratiques, l'utilisation appropriée des outils et machines et les précautions lors de leur utilisation, et la manipulation appropriée des déchets, en particulier les déchets dangereux. Idéalement, des instructions claires doivent être partagées rappelant les pratiques de sécurité au travail (par exemple ne pas fumer, ne pas marcher pieds nus, se laver les mains régulièrement, etc.).
- Assurer la conformité des papiers de travail avec les permis, licences et documents de notification requis. En particulier, le stockage, le traitement, le transport et l'exportation des déchets dangereux sont souvent réglementés par les lois nationales et internationales.
- Tenir un registre des plastiques et fractions collectés, transportés et recyclés.
- Maintenir la sécurité du site pour éviter l'accès à des personnes non autorisées et éviter les dommages et le vol.
- Fournir une sécurité financière (p.ex. au travers d'une assurance) pour couvrir les risques et les responsabilités résultant d'accidents et d'événements imprévus, y compris les blessures, les dommages causés par les incendies, etc., ou les rejets accidentels de polluants.

## Sécurité incendie, fumée, poussières et gaz toxiques

La dégradation thermique et l'oxydation des plastiques (principalement les polymères mais également les additifs) libèrent des composés organiques volatiles qui doivent être considérés comme des gaz dangereux pour la santé car ils sont toxiques, irritants, allergisants, narcotiques et peuvent également être inflammables. En cas de combustion ou de pyrolyse, les plastiques libèrent des fumées (= mélange d'un gaz et de particules solides), des dioxines et furanes, du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques dont le méthane, des composés chlorés, fluorés ou soufrés ainsi que des métaux lourds (plomb, cadmium, etc.) (Polyloop, 2020 ; Azoulay et. al., 2019). Certains polymères en plastique brûlent facilement et ont un fort pouvoir calorifique alors que d'autres (comme le PVC ou les plastiques contenant des additifs ignifugeants), ne brûlent pas facilement. Les matériaux plastiques stockés en vue d'un transport ou



d'un recyclage n'ont guère de risque de prendre feu dans des conditions normales mais peuvent être vulnérables en cas de négligence et de vandalisme (UNEP, 2002).

Pour assurer un environnement sûr aux travailleurs et au voisinage, les règles suivantes devraient toujours être appliquées :

- Les matériaux plastiques destinés au recyclage devraient être stockés à l'extérieur en l'absence d'une zone de stockage interne disposant d'un système de protection des incendies adéquat.
- Fumer doit être interdit dans les zones de stockage et les zones de traitement des plastiques et ces zones devraient être protégées par une clôture appropriée.
- Tous les secteurs de la zone de stockage doivent rester facilement accessibles pour le personnel et les véhicules de service d'urgence (notamment camion de pompier).
- Des extincteurs en bon état de marche devraient se trouver dans la zone de stockage mais le personnel ne devrait essayer d'éteindre un feu que dans les toutes premières phases d'un incendie.
- Une liste des quantités et des types de déchets présents dans les locaux est utile pour les services d'urgence qui peuvent ainsi évaluer l'ampleur probable et le rythme de propagation d'un incendie. Les plans d'urgence sont aussi des instruments utiles pour améliorer la préparation des services d'urgence en cas d'incendie ou d'autres situations d'urgence (UNEP, 2002).
- Des installations d'aspiration et de capture des composés organiques volatiles doivent être mis en place au-dessus des machines et l'évacuation des gaz rejetés dans l'atelier doit être assurée (Polyloop, 2020).
- Plutôt que d'utiliser des balais qui peuvent soulever de la poussière dans l'air, il est préférable d'utiliser une lingette/serpillère humide.

Si un incendie se déclare :



- L'ensemble du personnel doit évacuer immédiatement des locaux et se rassembler en des points reconnus afin d'être dénombré.
- Les services d'urgence doivent être appelés immédiatement et être informés de la présence de déchets plastiques et des risques liés (propagation rapide, liquéfaction, fumée et gaz<sup>12</sup>) (UNEP, 2002).

## Contrôle du bruit

Toute activité de recyclage s'accompagne de bruits importants pouvant impacter les travailleurs et communautés environnantes. Il est important de réduire au maximum le bruit causé par les machines à l'aide, par exemple de capots d'insonorisation et le port de casques anti-bruit.

### 5.4.2 Equipement de protection individuelle

Il est nécessaire de porter un équipement de protection individuelle (EPI) adapté lors du traitement et lors des déplacements dans les lieux de stockage et recyclage des déchets.

EPI	Utilisation
<p>Lunettes de protection</p> 	<p>Pour éviter les coupures et les blessures aux yeux. Pour éviter la pénétration de particules de poussière dans les yeux.</p>
<p>Casque/protection auditive</p> 	<p>Pour éviter une perte auditive.</p>

<sup>12</sup> Par exemple, lorsque le PVC brûle, il dégage du gaz chloridrique ayant des effets semblables à ceux du monoxyde de carbone (mal de tête, fatigue, vomissement). Toutefois, le PVC prend plus rarement feu que les autres plastiques et ils brûlent très lentement.

### Masque anti-poussière



En cas de manipulation de pièces contenant des matières toxiques/poussières, des masques ou respirateurs appropriés doivent être portés pour éviter les conséquences des gaz et poussières toxiques sur la santé.

Pendant les opérations normales, de simples masques industriels et un revêtement facial empêchent la poussière et d'autres particules fines de pénétrer dans le système respiratoire.

### Gants de travail robustes



Gants résistants aux coupures pour éviter les coupures/griffures.

### Chaussures de travail robustes



Pour protéger les pieds des objets lourds et pointus qui peuvent provoquer des blessures.

### Vêtements de protection/tabliers



Pour protéger contre les éclaboussures et la poussière. Qui sont robustes et faciles à nettoyer.

Veste/Pantalon haute visibilité (lors des déplacements dans le site) : pour signaler visuellement la présence de l'utilisateur, afin de le détecter et de bien le voir dans des situations dangereuses, dans toutes les conditions de luminosité.

→ Disposer d'une trousse de premiers soins sur les sites de stockage et de traitement est une bonne pratique en cas de blessures.

### 5.4-3 Processus de traitement du plastique

Les entreprises de recyclage doivent concevoir des processus pour trier et traiter efficacement leurs plastiques cibles en fonction des exigences du marché. Divers facteurs, tels que la disponibilité des matières premières, les moyens financiers de l'entreprise, les coûts de la main-d'œuvre locale, etc., détermineront quels processus peuvent être mis en œuvre de manière rentable. La conception optimale du procédé est celle qui conduit à la qualité (pureté, élimination des additifs indésirables) et à l'état (boîtiers, granulés/pellets) du produit requis au moindre coût (Bill et. al., 2019).

La figure ci-dessous montre les étapes clés du processus de recyclage mécanique manuel du plastique. Une infographie du recyclage mécanique automatisé est disponible en Annexe 4.



Figure 24 - Processus de recyclage mécanique du plastique (élaboration UNITAR à partir de *Plastics Europe, 2022 ; Bills et. al., 2019*)

#### Pré-tri manuel (peut également être automatisé)

Avant d'être traités, les déchets plastiques doivent être :

- Séparés des matériaux non plastiques ;
- Triés en différentes catégories de plastiques ;
- Triés en fonction de la présence ou non de contaminants.
- 

Le personnel de démontage et de tri peut identifier et trier de nombreuses pièces en plastique sur la base de son expérience et de tests occasionnels (voir [section 5.3](#)). Une équipe de trieurs bien formée

atteindra des taux de séparation élevés avec un pré-tri purement manuel, ce qui pourrait déjà suffire pour certains clients. Même si la séparation par densité ou les technologies de tri avancées sont utilisées ultérieurement, le pré-tri manuel peut améliorer considérablement l'efficacité de séparation obtenue. En outre, le tri des plastiques par couleur peut être effectué plus efficacement avant toute réduction de taille et entraînera des prix de marché plus élevés pour les fractions de couleur unique obtenues. À ce stade, il peut également être envisagé d'utiliser des dispositifs d'identification portables (voir [section 5.3](#)) pour améliorer le potentiel de détection des additifs problématiques et simplifier l'identification des types de plastique. Cependant, il faut garder à l'esprit que de tels dispositifs sont coûteux et nécessitent un entretien régulier (Bill et. al., 2019).

## Mise en balles

Lorsque les plastiques doivent être vendus ou transportés vers d'autres installations, les entreprises de recyclage peuvent envisager d'acheter une presse hydraulique pour réduire les volumes et ainsi faciliter et réduire les coûts de transport et stockage (Bill et. al., 2019). La mise en balles convient aux déchets de composants, de films et de bouteilles. Cette technique présente l'avantage de faire du tri post-compression un processus simple et technologiquement peu compliqué (PNUE, 2002).

Pour une mise en balles sûre et efficace, il faut prêter attention aux aspects suivants :

- La compression excessive des déchets plastiques mis en balles peut fusionner les déchets en une masse solide qu'il sera très difficile de fragmenter à nouveau.
- Des ligatures en polyester ou en acier inoxydable doivent être utilisées et être suffisamment fortes pour résister à la pression à long terme des matériaux comprimés. Il faut aussi éviter les blessures lors de l'ouverture des balles.
- Les balles insuffisamment comprimées sont instables.
- Les balles ne devraient être manipulées qu'avec un transpalette ou un chariot élévateur.
- La mise en balles exige du personnel adéquatement formé et équipé.
- Si possible, le tri en gisements de déchets mono-matériau devrait être réalisé avant la compression (PNUE, 2002).

## Déchetage / broyage

La réduction de la taille est souvent une exigence nécessaire pour les étapes de traitement ultérieures et elle réduit les coûts de transport et l'espace de stockage requis. Des broyeurs de plastique permettent de produire des flocons de taille uniforme de 3 à 8 mm selon le modèle. Ils sont utiles pour traiter de gros volumes car même les petits broyeurs ont généralement des capacités de débit de 100 à 200 kg / heure. De tels débits élevés ne sont généralement pas nécessaires pour les petites entreprises de recyclage. Pour les entreprises de recyclage ayant des débits limités, il peut être intéressant de partager un broyeur afin de réduire les coûts individuels d'investissement, de maintenance et d'exploitation. Selon le coût de la main-d'œuvre, une alternative viable au broyage

peut être de couper les plastiques en plus petits morceaux à la main (par exemple, à l'aide de machettes ou de cisailles) (Bill et. al., 2019).

Les gisements de plastiques mono-matériau ou mélangés peuvent être broyés, mais pour des opérations écologiquement rationnelles et sûres, il convient de noter les points suivants :

- Certains marchés n'acceptent pas le matériel broyé en raison des normes de qualité requises.
- Le broyeur doit être construit et installé de manière à protéger l'opérateur des éclats, de l'enchevêtrement des déchets de films et du bruit.
- Le broyeur doit être protégé de la contamination métallique au moyen de systèmes de détection et d'élimination des métaux.
- Les résidus de plastiques mixtes ne devraient être broyés que si l'on est assuré d'une application pour le produit mélangé ou si un système de tri post-broyage permet de produire des gisements mono-matériau de bonne qualité.
- Avant que les matériaux broyés ne soient retraités, ils doivent être séchés et conditionnés en fonction du cahier des charges applicable au matériau vierge (PNUE, 2002).

### **Séparation évier/flotteur**

Les méthodes de séparation évier/flotteur introduites dans la [section 5.3.7](#) peuvent être développées en un tri à grande échelle des flocons de plastique déchiquetés. Si les plastiques ABS et HIPS ont été prétriés au préalable, la séparation évier/flotteur peut être utilisée pour éliminer efficacement les plastiques contenant des RFB de ces fractions. Une autre application possible consiste à séparer les plastiques mélangés et broyés en coupes de densité différente à traiter ultérieurement avec des technologies de tri avancées (par exemple, la séparation électrostatique) (Bill et. al., 2019).

### **Lavage**

Les plastiques contiennent souvent des corps étrangers tels que de la saleté, des résidus alimentaires ou des résidus de colle provenant d'autocollants. En général, la qualité du produit s'améliorera si ces impuretés sont éliminées lors d'une étape de lavage. Une solution basique (par exemple à base de soude caustique) doit être utilisée et les eaux usées évacuées via un système d'égout industriel. Des techniques simples, telles qu'un bassin de décantation, peuvent être utilisées pour réutiliser l'eau autant que possible et minimiser les coûts d'exploitation (Bill et. al., 2019).

### **Tri automatisé basé sur des technologies avancées**

Les technologies de tri semi-automatisées ou entièrement automatisées sont souvent utilisées dans les pays industrialisés où les coûts de main-d'œuvre sont trop élevés pour justifier des processus de tri manuels. Si des débits élevés, des marchés stables et les moyens financiers d'investir dans de tels équipements sont disponibles, l'utilisation de processus de tri basés sur la technologie pourrait être envisagée (Bill et. al., 2019).

## Compoundage et extrusion

S'il existe un marché pour les granulés de plastique secondaires de haute qualité, les entreprises de recyclage pourraient envisager de mettre en œuvre cette dernière étape de transformation pour augmenter encore la valeur de leurs produits. Des granulés de plastique purs et propres sont mélangés avec de nouveaux additifs basés sur les exigences du client (compoundage) et introduits dans une extrudeuse où le plastique est chauffé et pressé en granulés homogènes et de taille uniforme (Bill et. al., 2019).

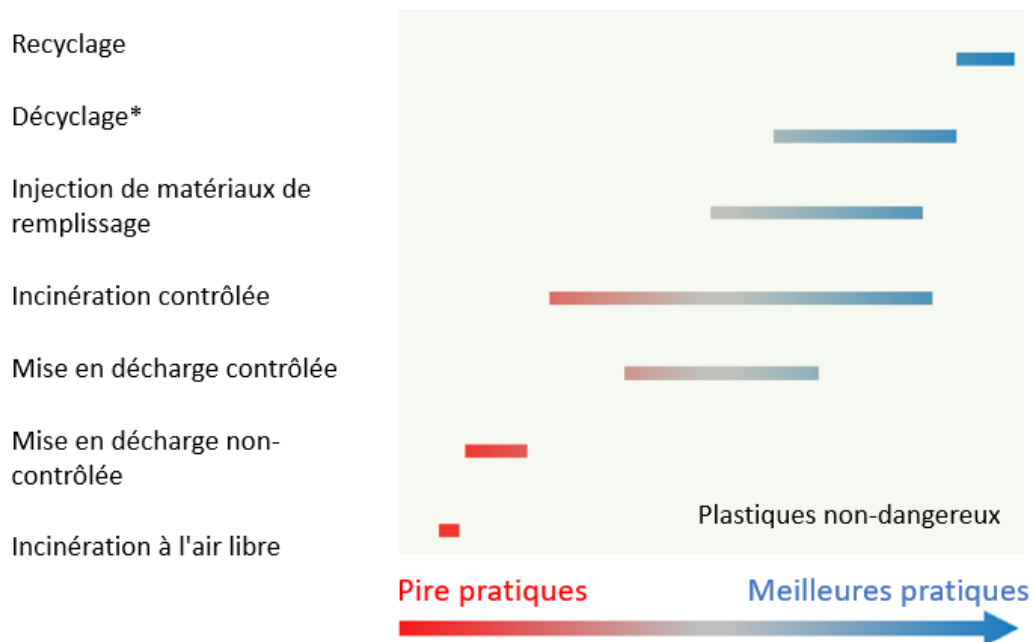
### 5.5 MTD/MPE pour l'élimination du plastique non recyclable

Dans de nombreuses régions du monde, il existe peu ou pas de solutions établies pour les déchets et fractions de plastiques recyclés qui ne peuvent pas être vendues. Celles-ci finissent souvent par être jetées ou brûlées à l'air libre. Les entreprises de recyclage du plastique doivent donc être proactives pour identifier la solution la plus viable dans leur contexte local. Une bonne première étape consiste à vérifier quelles infrastructures (décharges, incinérateurs) et industries (recycleurs de plastique, fabricants de plastique, industrie de la brique métallique et du ciment) existent au niveau national, régional ou international. Une fois les solutions potentiellement disponibles identifiées, elles doivent être évaluées en termes de viabilité environnementale (voir graphique ci-dessous), juridique (auprès de l'autorité environnementale nationale) et financière (Bill et. al., 2019).

Les graphiques et explications ci-dessous offrent une vue d'ensemble des solutions pour les fractions plastiques non-dangereuses et dangereuses par rapport à leur viabilité environnementale. Cependant, il ne faut pas oublier que les impacts réels sur l'environnement et la santé humaine dépendent de nombreux facteurs et peuvent être très variables. De plus, avant de mettre en œuvre une solution spécifique, l'autorité environnementale locale doit être consultée afin de vérifier les lois et réglementations existantes concernant la solution choisie (Bill et al. 2019).

#### 5.5.1 Plastiques non dangereux

Il existe diverses possibilités de valoriser davantage, si possible, ou d'éliminer les fractions plastiques non dangereuses pour lesquelles aucun marché spécifique ne peut être identifié. En règle générale, la valorisation matière doit être privilégiée, suivie de la valorisation thermique et de la mise en décharge contrôlée (Bill et. al., 2019).



**Figure 25** - Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions de plastiques non-dangereuses (élaboration UNITAR à partir de : Bill et. al., 2019)

## Recyclage

Toutes les entreprises de recyclage ne se concentrent pas sur les mêmes types de plastique et il est possible que certains des plastiques non ciblés d'une entreprise soient traités ultérieurement par une autre. Bien qu'il puisse être difficile d'obtenir de bons prix étant donné que certains des plastiques commercialisables ont déjà été éliminés, un recyclage supplémentaire est toujours la meilleure solution pour les plastiques non dangereux (Bill et. al., 2019).

## Décyclage<sup>13</sup>

Bien que le recyclage des fractions de plastiques mixtes se traduise par des matériaux de faible qualité, certains fabricants pourraient être intéressés par l'achat de plastiques mixtes à bas prix pour les utiliser dans la fabrication de produits à faible qualité tels que les composites bois-plastique, chaises en plastique, poteaux de clôture, etc. (Bill et. al., 2019).

## Injection de matériau de remplissage

Les déchets plastiques peuvent potentiellement être utilisés comme charges dans des matériaux de construction tels que le béton ou l'asphalte. Bien que cette application entraîne une perte de plastique pour une récupération et un recyclage ultérieur, elle offre des avantages environnementaux grâce à

<sup>13</sup> « Décyclage » de l'anglais « downcycling » est la transformation d'un déchet ou d'un objet inutilisable en un nouveau matériau ou produit de qualité ou valeur moindre.



la substitution des matières premières nécessaires à la production de ces matériaux de construction (Bill et. al., 2019).

### **Incinération contrôlée**

Les plastiques ont un pouvoir calorifique élevé et d'importantes quantités de chaleur sont dégagées lors de la combustion des plastiques. Cette énergie thermique peut être récupérée soit à des fins de production d'énergie dans les usines d'incinération des déchets, soit en utilisant le plastique comme combustible alternatif dans les industries à forte intensité énergétique telles que la fonte des métaux et la fabrication de briques ou de ciment. La combustion des plastiques entraîne le dégagement de fumées toxiques contenant des dioxines et des furanes, dangereux pour la santé humaine et l'environnement. L'incinération du plastique ne peut donc être considérée comme une bonne pratique que si des mesures adéquates de contrôle des émissions et de traitement de l'air sont en place. Par conséquent, la viabilité environnementale de l'incinération du plastique est variable et doit être évaluée pour chaque solution individuelle (Bill et. al., 2019).

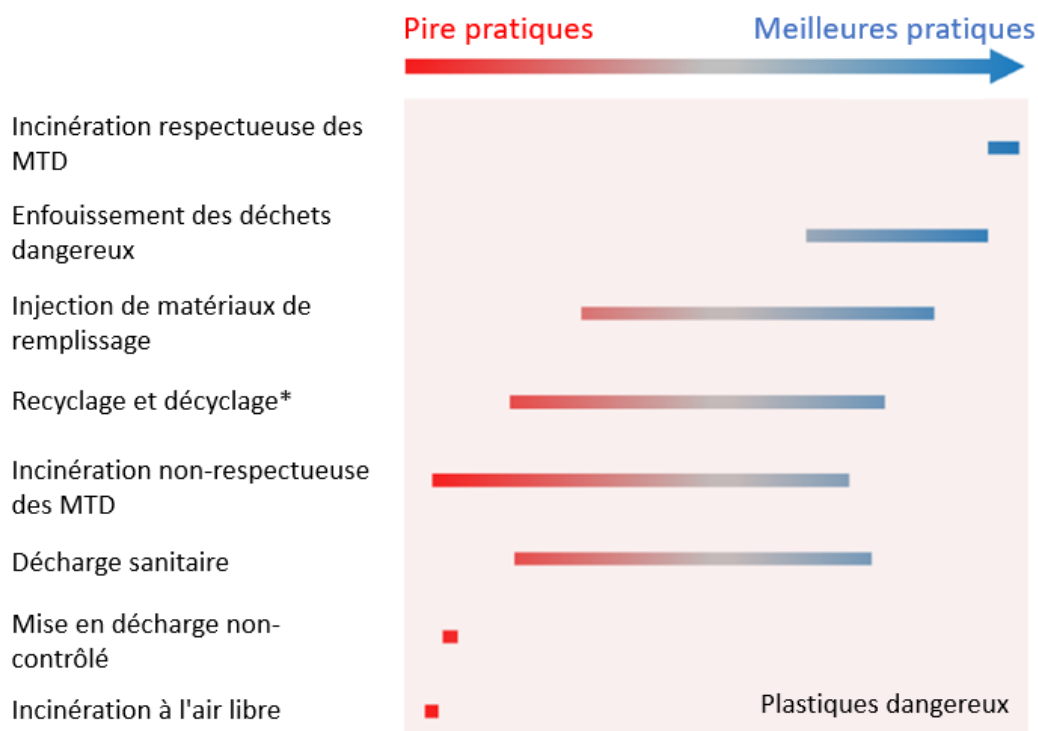
### **Mise en décharge contrôlée**

Si aucune autre solution viable n'est trouvée, l'enfouissement peut être envisagé. Étant donné que la présence de plastiques augmente le risque d'incendie dans les décharges et les dépotoirs, seules les décharges contrôlées (par exemple, les décharges de déchets dangereux ou les décharges sanitaires) avec une gestion appropriée doivent être envisagées là où des précautions sont prises pour prévenir les incendies (Bill et. al., 2019).

La mise en décharge non contrôlée et l'incinération à l'air libre sont des pratiques à éviter, même pour les fractions plastiques non-dangereuses.

### **5.5.2 Plastiques dangereux**

Dans de nombreuses régions du monde, les MTD concernant la gestion et l'élimination des fractions dangereuses ne sont pas accessibles car l'infrastructure requise (p. ex. incinérateurs ou décharges de déchets dangereux), n'existe tout simplement pas. L'identification des meilleures solutions alternatives est souvent difficile car les impacts à long terme de ces solutions sous-optimales sont difficiles à évaluer et à comparer.



**Figure 26** - Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions de plastiques dangereuses (élaboration UNITAR à partir de : Bill et. al., 2019)

### Incinération respectueuse des MTD

L'incinération à très haute température (autour de 1100°C) détruit les substances organiques dangereuses dont les RFB. Les incinérateurs de déchets dangereux fonctionnent à ces températures et appliquent un contrôle de pointe des émissions afin d'éliminer les fumées toxiques et les métaux lourds. À l'heure actuelle, l'incinération de matières plastiques contenant des substances telles que les RFB et les métaux lourds dans des incinérateurs de déchets dangereux est considérée comme une MTD (Bill et. al., 2019).

### Enfouissement des déchets dangereux

Les décharges de déchets dangereux sont équipées de mécanismes de contrôle spécifiques pour empêcher les substances dangereuses de se disperser dans l'environnement. Ces décharges ont souvent des compartiments séparés, sont équipées de revêtements imperméables et d'un système de collecte des lixiviats et doivent être correctement gérées. Les décharges de déchets dangereux offrent une solution d'élimination viable pour les RFB et les plastiques contenant des métaux lourds (Bill et. al., 2019).

## **Injection de matériau de remplissage**

L'utilisation de plastiques contenant des substances dangereuses comme charges dans les matériaux de construction peut être une alternative viable aux MTD d'incinération ou de mise en décharge. L'exigence est que les substances dangereuses soient stabilisées (c'est-à-dire qu'elles ne soient pas lessivées avec le temps) dans l'infrastructure (p. ex., dans le revêtement des routes) (Bill et. al., 2019).

## **Recyclage et décyclage**

Le recyclage des plastiques contenant des RFB dans des produits qui nécessitent un retardateur de flamme, ou le recyclage des fractions plastiques dangereuses dans des produits dans lesquels les substances toxiques sont stabilisées, peut être la solution la plus viable dans les régions où les MTD d'incinération ou de mise en décharge ne sont pas accessibles. Si des plastiques dangereux sont recyclés ou décyclés en raison du manque d'accès à de meilleures solutions, il faut s'assurer que ces plastiques ne sont utilisés que dans des produits à utilisation à long terme et à exposition humaine minimale (p. ex., les poutres en plastique utilisées dans la construction) (Bill et. al., 2019).

Les RFB considérés comme POP ne doivent en aucun cas être recyclés et doivent sortir du cycle de recyclage en étant détruit. Pour la ségrégation de ces plastiques, la plupart des recycleurs en Europe utilisent des systèmes optiques.

## **Incinération non-respectueuse des MTD**

L'incinération de fractions plastiques ou de PVC contenant des RFB dans des incinérateurs non conformes aux MTD ou en tant que combustibles alternatifs peut entraîner divers problèmes. En raison de l'effet ignifuge des halogènes, une combustion incomplète est souvent un problème lorsque les températures ne sont pas suffisamment élevées et que la destruction complète des polluants organiques n'est pas obtenue. De plus, des gaz acides se forment. Ils sont corrosifs et peuvent endommager l'infrastructure où le plastique est incinéré. Ces effets corrosifs sont particulièrement problématiques lorsque les niveaux d'halogène sont supérieurs à 1 %, ce qui est souvent le cas pour les plastiques bromés et le PVC.

Si une telle solution est néanmoins choisie pour éliminer les fractions plastiques dangereuses, seules de petites quantités doivent être incinérées pour maintenir les concentrations de gaz acides à un niveau bas. De plus, un traitement des fumées (épuration sèche ou semi-sèche avec des absorbants basiques) doit être mis en place pour éliminer les gaz acides. La quantité de POP rejetée dans l'environnement lors de l'application d'une incinération non MTD peut être très variable et dépend de la température de combustion et des contrôles des émissions (par exemple, mesures de réduction des dioxines) en place. L'utilisation de plastiques dangereux comme combustible alternatif dans un four à ciment moderne fonctionnant à des températures élevées pourrait être proche des MTD en termes d'impacts. Par contre, l'incinération de la même fraction dans une ancienne fonderie de

métaux sans contrôle des émissions ne serait guère meilleure que la combustion à l'air libre (Bill et. al., 2019).

## Décharge sanitaire

Une décharge sanitaire standard est équipée d'un revêtement imperméable et d'un système de contrôle des lixiviats et la mise en décharge dans une telle installation peut être considérée comme une solution viable pour les fractions plastiques dangereuses. Cependant, lorsque ces contrôles sont absents ou inférieurs aux normes, les substances dangereuses peuvent se disperser dans l'environnement. Bien que préférable au déversement incontrôlé et à la combustion à l'air libre, l'élimination des fractions plastiques dangereuses dans des décharges sanitaires de qualité inférieure doit être évitée.

En Côte d'Ivoire, il n'existe pour le moment peu ou pas de solutions établies pour les déchets plastiques non-recyclables et les fractions qui ne peuvent pas être vendues (y compris les fractions de plastiques dangereux) finissent souvent par être jetées dans les rues et dépôts sauvages ou brûlées à l'air libre. Ces mauvaises pratiques sont à éviter à tout prix. Lorsque l'incinérateur ENVIPUR aura été mis à niveau, il pourra être utilisé pour l'élimination des plastiques non recyclable non-dangereux et dangereux.



Les entreprises de recyclage doivent toujours essayer d'identifier et de mettre en œuvre la meilleure solution économiquement réalisable pour les fractions plastiques non ciblées afin de protéger la société et l'environnement.

Les solutions mises en œuvre doivent respecter les lois et réglementations locales.

Les plastiques ne doivent pas être déversés dans l'environnement. Ils ne se dégraderont pas avant des centaines d'années.

**La combustion à l'air libre des plastiques libère des fumées toxiques et nuit à la fois aux personnes et à l'environnement. Cette pire pratique doit être évitée à tout prix (Bill et.al., 2019).**

## 5.6 Produits issus du recyclage du plastique

### 5.6.1 Types de fractions issues du recyclage du plastique

Le niveau de prétraitement qui doit être appliqué dépend des préférences du client. Il existe une gamme de clients potentiels, des petits transformateurs de plastique locaux aux grandes entreprises de fabrication internationales. Toutes les industries ne sont pas intéressées par les mêmes plastiques et tous les clients ne préfèrent pas le même niveau de prétraitement. Bien que chaque étape supplémentaire ajoute de la valeur au produit final, les investissements dans le prétraitement n'ont de sens que s'il existe une demande du marché pour le produit obtenu.

→ **Avant d'investir dans une technologie, les entreprises de recyclage doivent donc collecter des informations sur les exigences des clients et les prix qui peuvent être obtenus pour différents types de fractions plastiques** (Bill et. al., 2019).

#### Plastiques entiers



##### Mixés

Des entreprises de recyclage de plastique peuvent acheter des plastiques mixés pour les trier et traiter elles-mêmes.

**Triés manuellement** (séparation des autres matériaux ; par types de plastiques ; par couleur)

Des entreprises produisant des pièces en plastique peuvent souvent prétraiter elles-mêmes les plastiques et achèteront des plastiques triés plutôt que de payer plus cher pour des flocons de plastique transformés.

#### Flocons




##### Mixés non-lavés

Des entreprises de recyclage de plastique disposant de l'équipement pour trier les flocons de plastique mélangés peuvent acheter une telle fraction.

##### Triés non-lavés

Des entreprises produisant des pièces en plastique avec de faibles exigences de qualité (poteaux de clôture, chaises, etc.) utilisent parfois des flocons de plastique triés mais non lavés dans leur processus de fabrication.

Des entreprises de recyclage de plastique spécialisées dans le raffinage des flocons de plastique en granulés de

	<p>plastique secondaires extrudés compounds peuvent également être intéressées par ces fractions.</p> <p><b>Triés propres</b></p> <p>Des entreprises produisant des produits de meilleure qualité, mais qui peuvent utiliser des flocons de plastique au lieu de granulés extrudés, voudront acheter des flocons purs et propres.</p>
<p><b>Granulés / Pellets</b></p> 	<p><b>Granulés de plastique extrudés</b></p> <p>Les fabricants de plastique de marque internationale exigent, en général, des granulés de plastique secondaires extrudés compounds de haute qualité.</p>

**Tableau 9** - Potentiels clients par types de fractions issus du recyclage du plastique (élaboration UNITAR à partir de Bill et. al., 2019)








### 5.6.2 Potentiels débouchés des plastiques recyclés

La demande en plastiques spécifiques dépend des besoins du secteur industriel pour différentes utilisations (p ex. besoin de plastiques résistant, flexibles, dures, colorés, etc.).

- **Un bon point de départ consiste à contacter les associations de producteurs des industries où le plastique qu'une entreprise de recyclage a l'intention de vendre est couramment utilisé.** Les administrateurs de ces organisations peuvent souvent fournir des informations sur ceux de leurs membres qui pourraient être intéressés par l'achat de fractions plastiques spécifiques (Bill et. al., 2019).

Par exemple, en Côte d'Ivoire, la matière plastique est vendue à certaines structures pour la confection de chaussures, de récipients, etc. (Aka, 2020). L'entreprise CIPLAST dispose quant à elle de machines adéquates pour la fabrication de matériel agricole (bâches, seaux). S'il n'existe pas de débouché à l'échelle locale ou nationale, il faut se renseigner à l'international, d'abord dans les pays voisins (afin de limiter les coûts de transport), puis dans d'autres régions.

Le tableau suivant donne un aperçu des possibles débouchés pour différents types de plastiques recyclés (les couleurs rappellent la recyclabilité, voir [Tableau 2](#)) :

Sigle et nom	 Polyéthylène téréphtalate (PET)	 Polyéthylène haute densité (PEHD)	 Polychlorure de vinyle (PVC)	 Polyéthylène basse densité (PEBD)	 Polypropylène (PP ou PPI)	 Polystyrène (PS)	 Autres
Débouchés <sup>14</sup>	Bouteilles d'eau et boissons gazeuses, fibres textiles, tapis, meubles, nouveaux emballages, matériaux d'isolation, géotextile.	Flacons ménagers (non alimentaires), bouteilles de détergent, caisses, tuyaux d'irrigation, arrosoirs, clôtures, tables de pique-nique, sacs poubelles, poubelles, sièges automobiles, bois plastique.	Le PVC est rarement recyclé mais certains programmes spécialisés recyclent le PVC en revêtements de sol, panneaux et gouttières en bordure de route, meubles de jardin.	Certains programmes recyclent le PEBD en poubelles, panneaux, meubles, revêtements de sol, papier bulles.	Palettes, grattoirs à glace, balais, ustensiles de jardin, tuyaux, pare-chocs, habitacles de voitures, câbles de batterie mais aussi en fibre textile.	Certains programmes de recyclage recyclent le PS en articles d'isolation, fournitures scolaires, encadrement des plaques d'immatriculation.	Lorsque les usines de recyclage l'acceptent, le plastique n° 7 est principalement recyclé en bois plastique et en produits spécialisés.

**Tableau 10** - Débouchés possibles des différents plastiques recyclés (élaboration UNITAR à partir de Protégez-vous, 2020 ; Renouvelables Vertes, n.d. ; General Kinematics, 2022 ; Paprec, 2020)

<sup>14</sup> Vert = Débouchés nombreux / Jaune = Débouchés limités / Rouge = Débouchés très limités.



**Tous les plastiques recyclés ne peuvent pas être utilisés pour créer tous types d'objets.** Il existe un certain nombre de limitations :

- Limites techniques, liées aux procédés de recyclage ou la chimie des matériaux ;
- Limites d'approvisionnement, liées aux quantités disponibles et la pérennité de la source ;
- Limites de pureté, liées aux risques de contamination par des substances potentiellement dangereuses, telles que certains additifs (pour plus d'information : RECORD, 2010).

## Exemple des plastiques DEEE

### Équipements électriques et électroniques



Principaux plastiques : PP, PS, ABS  
Autres : HIPS, PE, PVC, PC/ABS

Une industrie qui peut potentiellement traiter n'importe quel type de plastique DEEE est l'industrie EEE qui devrait donc être contactée en premier. D'autres industries susceptibles d'acheter des plastiques DEEE sont celles de l'agriculture, l'automobile, la construction, ou encore de certains bien de consommation. Les plastiques issus de DEEE ne doivent pas être vendus aux industries fabriquant des jouets ou des produits qui entrent en contact avec les aliments et l'eau car il existe toujours un risque de contaminations résiduelles qui présentent un risque pour la santé des utilisateurs (Bill et. al., 2019).

### Agriculture (p. ex. bâches)



Principaux plastiques : PE, PVC  
Autres : PP, PC

### Automobile (p. ex. pare-chocs)



Principaux plastiques : PP, PVC  
Autres : ABS, PC/ABS, PE, PC, HIPS

### Alimentation





<b>Construction</b> (p. ex. casques, plots)	<b>Biens de consommation</b> (p. ex. poubelles, chaises, etc.)	<b>Jouets</b>
 <p>Principaux plastiques : PE, PVC Autres : PP, PC</p>	 <p>Principaux plastiques : PP, PE Autres : PC, ABS, HIPS</p>	

**Tableau 11** - Utilisation du plastique DEEE recyclé dans différents secteurs (élaboration UNITAR à partir de Bill et. al., 2019)

## 5.7 Exemples réussis de recyclage du plastique

Face à l'ampleur de la problématique, une multitude de projets et initiatives sont mis en œuvre en Côte d'Ivoire et dans le monde afin d'améliorer le recyclage du plastique.

### 5.7.1 Amélioration de la collecte

De nombreux projets ont pour objectif d'impliquer et inciter les communautés dans la collecte et le tri des déchets plastiques. Ils utilisent souvent les nouvelles technologies afin de faciliter et promouvoir leur mise en œuvre. Ces projets ont une portée économique, environnementale et sociale avec la création d'emploi vert, notamment pour les femmes et les jeunes.

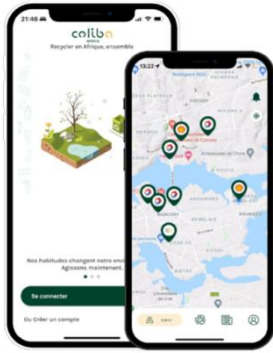


Figure 27 - L'application COLIBA ©Coliba

## COLIBA

Depuis plusieurs années, la start-up ivoirienne COLIBA spécialisée dans le recyclage des déchets plastiques a développé une plateforme web, mobile et SMS de précollecte des déchets plastiques. Les entreprises et ménages signalent leur déchets plastiques à des collecteurs affiliés qui se déplacent, tri et pèsent les déchets. Les utilisateurs reçoivent des points qui peuvent être convertis en bons d'achats, en alimentation de base ou en kits scolaires. Les déchets plastiques collectés sont triés dans un centre installé à Abidjan et sont ensuite transformés en paillettes et granulés plastiques de PET réutilisables (avec une capacité mensuelle de 150 tonnes

par mois en 2021) vendus aux industries locales opérant dans des secteurs tels que l'automobile, le bâtiment, et le textile. COLIBA a également installé plus de 135 box de collecte dans des stations-services d'Abidjan, ainsi que 16 kiosques permettant aux collecteurs informels de vendre leurs déchets plastiques. En 2021, l'entreprise a créé 64 emplois à temps plein dont 95% de femmes. Sur les 90 personnes travaillant à temps plein au sein de l'entreprise, plus de 80% sont des femmes. L'entreprise prévoit d'étendre son activité au reste de la Côte d'Ivoire ainsi qu'à d'autres pays (Nigéria, Cameroun, Sénégal) (COLIBA, n.d. ; Afrotribune, 2017 et 2019 ; Sprecher, 2018).



Figure 28 - Une femme recyclant du plastique ©Coliba

## PLASTOCK de RECYPLAST



Figure 29 - L'équipe PLASTOCK ©BabiGreen, 2021

PLASTOCK est une initiative de la start-up ivoirienne RECYPLAST, spécialisée dans le recyclage des déchets plastiques, de la collecte à la production de matières premières secondaires. Mis en place en 2020, PLASTOCK a pour but de faciliter le recyclage de tous les déchets plastiques générés par les ménages à Abidjan qui s'appuie sur trois piliers : 1) l'installation de box dans la ville pour récupérer les déchets plastiques des ménages ; 2) une application mobile permettant de localiser les box et l'attribution de points pour chaque gramme de plastique collecté qui sont ensuite convertis en crédits de

communication, data, ou mobile money ; 3) la mise en place d'un réseau de collecteurs franchisés RECYPLAST qui permettent d'assurer la collecte des déchets plastiques en vue de leur transformation au niveau de l'usine (Recyplast, n.d. ; Henryot, 2021). Cette initiative a permis de développer des emplois verts pour les collecteurs de déchets plastiques qui ont été formée et équipée et qui bénéficient d'une protection sociale et d'un salaire mensuel grâce au projet « les collecteurs indépendants » (Ehouman, 2021).

## « Recycle ton plastique ! » de l'AIVP

Similairement, l'Association Ivoirienne de valorisation des déchets Plastiques (AIVP), en partenariat avec les sociétés SOLIBRA, PROSUMA et COLIBA, a inauguré le 1er octobre 2021 le projet « Recycle ton Plastique ! » qui offre une solution de collecte et de valorisation des emballages plastiques et permet de sensibiliser les citoyens aux gestes de tri. Des bacs de collecte de bouteilles en plastiques usagées ont été installés dans trois centres commerciaux, à Marcory, Cocody-Riviera et de Djibi à Abidjan, bouteilles qui seront ensuite transformées en matières premières secondaires (Magoum, 2021 ; AIVP, n.d.).



Figure 30 - Boîte de collecte des bouteilles plastiques ©AIVP

### 5.7.2 Recyclage du plastique en boucle ouverte

D'autres types de projets ont pour objectif de recycler le plastique en nouveaux matériaux, par exemple des matériaux de construction ou des biens de consommations, tel que des articles de jardinage et bricolage, des meubles, ou des articles de mode.

#### Des écoles en briques de plastique recyclé en Côte d'Ivoire

L'UNICEF s'est associé à l'entreprise colombienne Conceptos Plasticos pour construire des salles de classes écologique et durable à partir de briques de plastique recyclé (PVC, bois composite et caoutchouc thermoplastique). Ces briques coutent 40% moins cher et sont 20% plus légères que des matériaux classiques, elles sont ignifugées, imperméables et durables, elles assurent une bonne isolation et résistent bien au vent (UNICEF, 2019b). En septembre 2021, 58 salles de classes, 3 écoles vertes et plusieurs latrines avaient déjà été construites permettant le recyclage de 305 tonnes de plastique. Plus de 2 900 enfants ont été scolarisés, des centaines de jeunes ont également bénéficié d'une formation professionnelle au sein des usines de recyclage et les réseaux de femmes, en charge du ramassage des déchets, ont été officialisés avec un salaire huit fois plus élevé qu'auparavant (UNICEF, 2021).

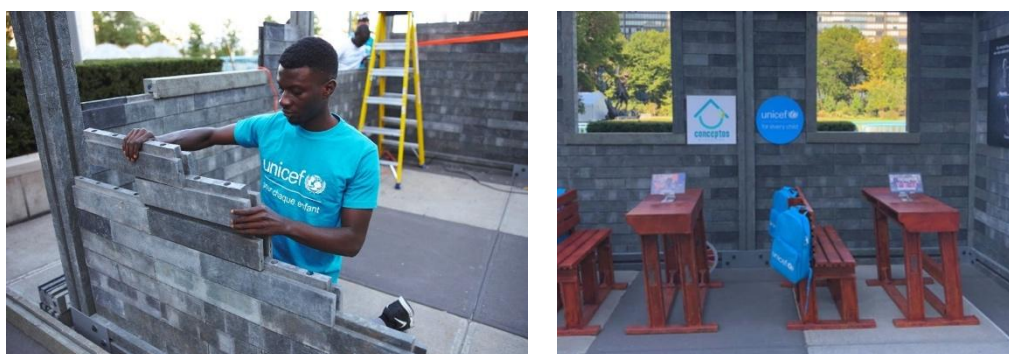
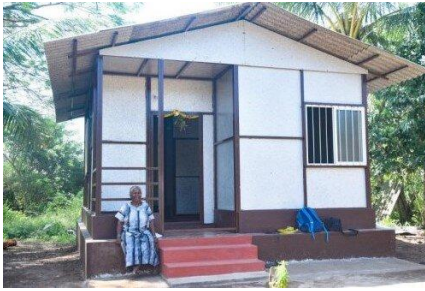


Figure 31 - Ecoles fabriquées en briques plastiques ©UNICEF



### Des maison en bouteilles en PET en Inde

L'association Plastic for Change utilise des bouteilles en plastique PET directement comme matériau de construction. Les bouteilles sont remplies de sable, puis empilées et recouvertes de boue ou cimentées ensemble pour former un mur (Plastic for Change, 2021).

Figure 32 - Une maison construite en PET recyclé ©Plastic For Change, 2021

### Le plastique recyclé en articles de jardinage au Sénégal

Depuis 2010, Sodiaplast œuvre dans la récupération et la transformation du plastique au Sénégal et recycle chaque année plus de 10 000 tonnes de déchets plastiques. Sodiaplast collecte les déchets plastiques rigides ou souples des entreprises et les transporte dans une installation classée par le Ministère de l'Environnement. Elle fournit un espace pour le stockage et le compactage des plastiques et recycle ces matériaux pour en faire des matières premières qui servent à la fabrication de tuyaux d'assainissement, de bassines, de seaux, de chaises, etc. Sodiaplast propose également des solutions de gestion des déchets plastiques aux particuliers et aux collectivités en fournissant des poubelles et en organisant des points de collecte (Sodiaplast, n.d.).



Figure 33 - Articles de jardinage en plastique recyclé ©Sodiaplast

### Des articles de modes à partir de filets plastiques en nylon au Ghana et Sénégal

L'entreprise de recyclage Seazsee conçoit et produit des montures optiques et des lunettes de soleil en Italie, ainsi que des montres en Suisse, entièrement fabriquées avec des déchets plastiques marins recyclés qui sont collectés par des pêcheurs en Espagne, en France, au Ghana et au Sénégal (Seazsee, n.d.). Les communautés et des pêcheurs sont incités à collecter et amener de vieux filets de pêche en nylon, sec et nettoyés, au site de collection en échange d'un paiement mobile (Ghana news Agency, 2021 ; SafePlanet, 2021).



Figure 34 - Collecte de filets de pêches usés ©Seazsee

## Des pneus recyclés en semelle de chaussure au Rwanda



Figure 35 - Chaussures en plastique recyclé ©Uzuri K&Y

La start-up rwandaise Uzuri K&Y fabrique des semelles de chaussures à partir de pneus usagés. Le but est de contribuer au développement du recyclage des déchets au Rwanda tout en offrant des produits de mode locaux et durables aux consommateurs. En 10 ans, l'entreprise a vendu plus de 44,000 paires de chaussures et souhaite s'étendre au Kenya, en Tanzanie et en Afrique du Sud (Uzuri K&Y, n.d. ; Marchés Africains, 2022 ; Wansi, 2022).

## Des dalles et pavés à partir de pneus recyclés au Nigéria

L'usine industrielle nigériane Freetown Waste Management Recycle possède des machines qui extraient les anneaux métalliques de l'intérieur du pneu. Après cette extraction, les ouvriers découpent les pneus en sections qui sont soumises à des broyeurs pour donner des caoutchoucs granulés. Des additifs sont ajoutés à ces granulés pour fabriquer des dalles de sol et des pavés (et d'autres produits) utilisés pour les allées et terrains de jeux. Les pneus usagés sont rachetés à des collecteurs (payés entre 0,17 et 0,24 USD par pneu) ou des mécaniciens et garages. La start-up a démarré ses activités avec 4 employés en 2020 et compte aujourd'hui environ 128 employés et a recyclé avec succès environ 100 000 pneus en dalles et pavés (Sakshi, 2021).



Figure 36 - Usine de recyclage des pneus usagés ©FreeTownWaste

## Des pneus transformés en asphalte en Allemagne



Figure 37 - Poudre de caoutchouc recyclé ©Evonik

Plusieurs entreprises d'Allemagne recyclent les pneus en granulés ou en poudre de caoutchouc, qui, couplés à des additifs (tels que Vestenamer de l'entreprise Evonik), sont utilisés en tant que composant du bitume routier ou de l'asphalte. Selon des études, ce mélange améliore la qualité et la durabilité des revêtements routiers : réduction des fissures de surface, des ornières et nids-de-poule ; diminution des émissions de composés volatils et semi-volatils, y compris les hydrocarbures et les composés soufrés ; réduction de la migration des composés organiques qui sont lessivés par la pluie et atteignent les eaux souterraines. Le recyclage permet entre autres d'économiser 2,7 tonnes de

dioxyde de carbone qui seraient autrement produites au cours du processus d'incinération (Evonik, n.d.).

### 5.7.3 Responsabilité élargie du producteur

Des ébauches de responsabilité élargie du producteur (REP) sont mise en place dans divers pays afin promouvoir et financer le recyclage du plastique.

#### Prise en charge de l'organisation logistique et financière du recyclage des bouteilles en PET par les producteurs au Zimbabwe

Au Zimbabwe, PetrecoZim est une société à responsabilité limitée lancée en 2011 comme une initiative de responsabilité élargie du producteur par de grandes entreprises de l'industrie des boissons pour lutter contre la pollution environnementale liée aux bouteilles en PET. La société reçoit des bouteilles transparentes et colorées et les transforme en flocons PET qui sont soit vendus sur un marché local, soit exportés vers l'Inde, Taïwan et les Pays-Bas. L'entreprise fournit également des balles de PET à l'Afrique du Sud et à quelques entreprises locales. La majeure partie (70%) des déchets traités à l'installation de recyclage est collectée par des agents informels sous contrat avec PetrecoZim répartis dans différentes villes et villages du pays, tandis que le reste est livré par des collecteurs intermédiaires de PET, notamment Clean City et Zero waste. Les collecteurs sont rémunérés en fonction du poids et de la qualité de la matière récupérée. Le plastique est ensuite trié et classé par couleur à l'usine de recyclage pour assurer la cohérence de la qualité. Les bouteilles sont ensuite poussées à travers une série de processus de lavage et de mise au rebut utilisant une combinaison d'eau chaude et de produits chimiques pour éliminer toute contamination telle que la boue, les résidus, les étiquettes, les autres plastiques et les colles. Les bouteilles sont transformées en granulées puis en flocons qui sont de nouveau lavés puis séchés et ensachés afin d'être vendus. Les flocons peuvent également être extrudés et palettisés avant mise sur le marché (PetrecoZim, n.d).



Figure 38 - Usine de recyclage du PET ©PetrecoZim

## Financement d'un centre de traitement du plastique par une coalition de producteurs de plastique au Ghana

La Ghana Recycling Initiative by Private Enterprises (GRIPE) est une coalition formée en 2017 par des entreprises ayant un intérêt dans le secteur des plastiques pour promouvoir des solutions durables de gestion des déchets plastiques. En 2018, la GRIPE s'est associée à la Fondation ASASE pour construire une usine de recyclage de plastique à Katamanso au Ghana (CASH IT !). Le centre a été conçu pour produire des plastiques broyés pour les recycleurs locaux. De 20 tonnes traitées par moi en 2018, l'entreprise est passée à 35 tonnes fin 2019. En 2020, ASASE s'est associée avec l'association Closing the Loop pour développer les capacités de l'installation afin d'atteindre 500 tonnes de déchets plastiques par an, puis pour construire deux nouvelles installations d'ici fin 2023 (grâce au soutien financier de l'Union européenne). En octobre 2021, 150 nouvelles opportunités d'emploi avaient été créés dans le secteur du recyclage local. Afin de créer un approvisionnement régulier en déchets plastiques pour les nouvelles installations, la fondation ASASE a également lancé deux nouveaux centres de collecte à Accra, où les récupérateurs peuvent regrouper et mettre en balles les déchets plastiques collectés, et les revendre à la fondation. Pour aider à traiter ces déchets collectés et les revendre à une valeur plus élevée, une extrudeuse a été installée dans l'installation, transformant les déchets plastiques collectés en granulés. Cela améliore la viabilité économique à long terme de l'activité de recyclage. La fondation ASASE travaille également avec 58 écoles pour enseigner aux élèves la gestion, la séparation et le recyclage des déchets et collecter ces déchets qui sont envoyés à l'usine de recyclage. Enfin, la fondation s'est associée à l'institut de Design et Technologie d'Accra pour faire participer des étudiants sélectionnés à la conception et à la fabrication de la deuxième usine de recyclage, où ils auront ensuite la possibilité de continuer à travailler après l'obtention de leur diplôme (Alliance To End Plastic Waste, 2021 ; GRIPE, 2021).



Figure 39 - Installation CASH IT! ©Fondation ASASE, n.d. et Alliance to End Plastic Waste, 2021

## 6. Considérations économiques du recyclage du plastique

### 6.1 Prix du marché des plastiques vierges et recyclés et leur relation avec le prix du pétrole

La production des plastiques vierges est en grande partie basée sur des matières de base dérivées du pétrole. Le prix du pétrole constitue donc une composante essentielle du prix des plastiques et les évolutions des prix des résines vierges y sont directement liées (Deloitte, 2015). Le coût de production des plastiques vierges dépend également d'autres facteurs, tels que le prix de l'énergie du réseau, le coût des additifs, l'offre et la demande et les accords commerciaux entre vendeur et acheteur. Au contraire, le prix des plastiques recyclés n'est pas déterminé par les coûts marginaux de production mais par les alternatives concurrentes de matériaux vierges, couplées à d'autres facteurs, notamment la demande des consommateurs, la politique environnementale ou la disponibilité de la technologie (PolyCE project, 2021).

Les prix des plastiques vierges étant liés aux variations du prix du pétrole brut sur les marchés mondiaux, ils peuvent subir de fortes fluctuations. Cela a un impact pour les fabricants de matériel plastique en termes de coûts et de sécurité de planification, et de même pour les recycleurs de plastique qui doivent maintenir un prix compétitif par rapport au plastique vierge (PolyCE project, 2021).

Si l'on examine le prix du marché de types de polymère couramment utilisés (PEBD, PEHD, PP) au premier trimestre 2022, on constate que les équivalents en plastique recyclé sont environ 30 à 40% inférieurs au prix des plastiques vierges et présentent un peu moins de fluctuations. Des coûts de matières premières plus faibles entraînent par conséquent des coûts de production plus faibles et donc un taux de profit accru (données extraites de Kunststoff Information, 2022).



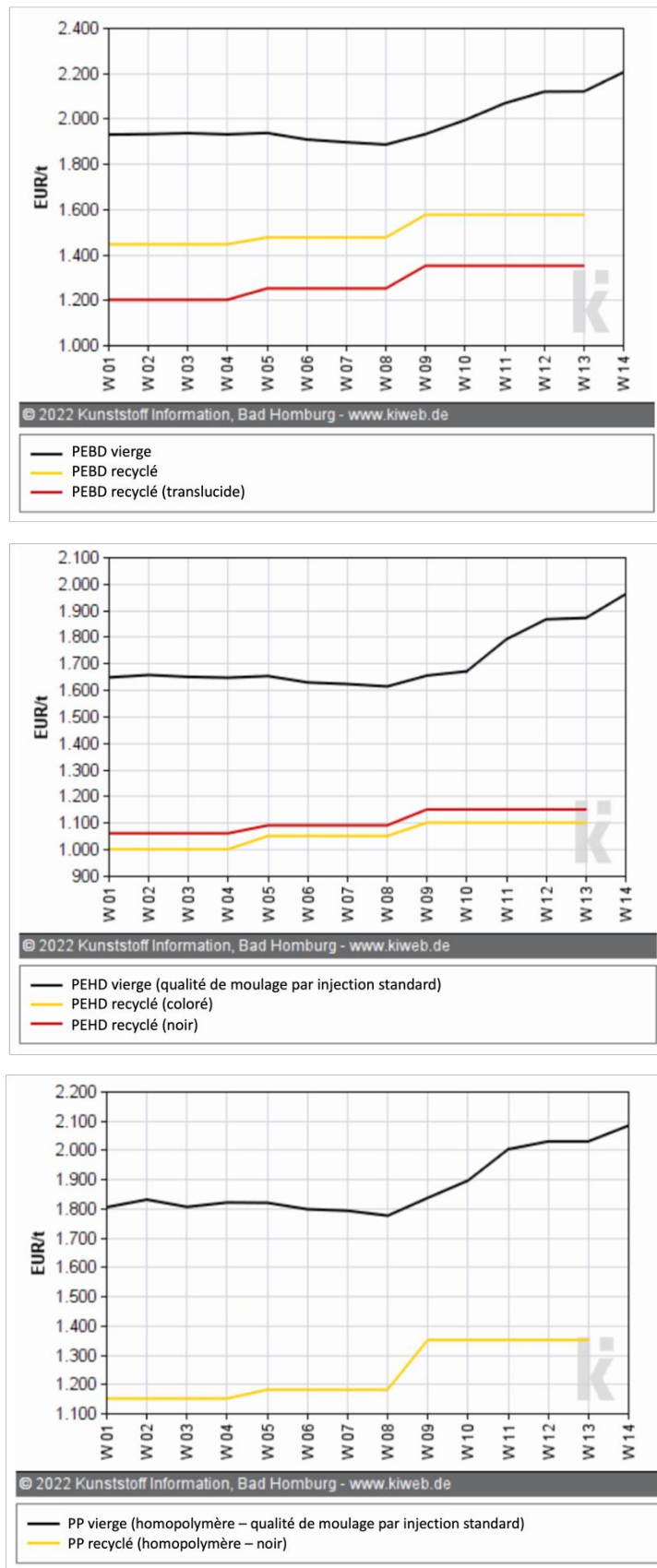


Figure 40 - Comparaison des prix de plastique PEBD, PEHD, PP vierges et recyclés (période Janvier – Mars 2022) (données extraites de Kunststoff Information, 2022)

Cependant, les prix et les tendances de fluctuation du plastique vierge par rapport au plastique recyclé sont soumis à la dynamique du marché, et une demande accrue de plastique recyclés pourrait inverser la situation actuelle (hausse des prix des matériaux recyclés et réduction des prix des plastiques primaires), les plastiques vierges devenant plus compétitif et stable en prix. De même, une baisse des prix du pétrole pourrait modifier les avantages de prix des matériaux recyclés (PolyCE project, 2021).

Au cours des années 2018-2019, le prix des plastiques était généralement stable, voire à la baisse, en raison d'une demande stable, une baisse des prix des matières premières et une offre suffisante (Sherman, 2019). Depuis 2020, le prix des plastiques vierge est en forte hausse, avec des augmentations pouvant aller jusque 40% (Summit Packaging, 2021), en raison :

- Principalement de la crise sanitaire, qui a entraîné des pénuries de matériaux - dues aux arrêts ou réduction de la production en raison des confinements, des mesures sanitaires et du manque de main d'œuvre - tout en causant une énorme augmentation de la demande de plastiques (emballages plastiques et équipements de protection individuelle).
- Mais également d'autres cas de forces majeures, tels que l'ouragan Laura aux Etats Unis et des inondations en Europe qui ont impactés des sites de production du plastique ; la crise du canal de Suez qui a bloqué la chaîne d'approvisionnement.
- Ainsi que des relations tendues dans le commerce international, tel que la crise du Brexit (Summit Packaging, 2021 ; Polyvia, 2021).
- Plus récemment, de la guerre en Ukraine qui fait grimper le prix du pétrole (Hanna, 2022).

Dans le même temps, les prix des déchets plastiques recyclés (post-industriels et post-consommation) ont eux aussi sensiblement augmenté en raison de l'augmentation du prix des matériaux vierges (interdépendance expliquée ci-dessus), de la diminution des déchets exploitables, et d'une demande accrue pour ce type de plastique. L'explosion des prix des polymères vierges a en effet incité de nombreux plasturgistes à favoriser les matières plastiques recyclées lorsque cela était possible (Polyvia, 2022).

## 6.2 Coûts de la gestion des déchets plastiques

La gestion des déchets s'accompagne d'un certain nombre de dépenses et de recettes pour les différents acteurs impliqués.

Étapes de la chaîne de valeur	Acteurs	Dépenses		Recettes
Production	Producteur	REP		_____
	Ménages Industries Collectivités	Coûts directs : - Tarif de stockage - Tarif de collecte - Tarif de traitement (y compris élimination)	Coûts indirects : - Taxes - Gestion administrative (entreprise)	- Reprise matières
Collecte	(Pré) Collecteurs	- Transport - Main d'œuvre - Manutention		- Tarif de collecte - Revente pour traitement
Traitement	Entreprise de recyclage	- Transport - Installation : ▪ Stockage ▪ Manutention ▪ Investissement matériel ▪ Energie - Main d'œuvre - Achat de matière - Elimination déchets non recyclables		- Tarif de traitement - Revente de matière première recyclée
Élimination	Entreprise d'incinération	- Transport - Installation : ▪ Stockage ▪ Manutention ▪ Investissement matériel ▪ Energie		- Tarif de traitement - Valorisation énergétique
	Décharges	- Main d'œuvre - Achat de matière		- Tarif de traitement

**Tableau 12** - Vue d'ensemble des dépenses et recettes de la gestion des déchets plastiques par acteur de la chaîne de valeur (élaboration UNITAR, à partir de Ademe, n.d.)

### 6.2.1 Dépenses

Les dépenses liées à la gestion des déchets couvrent les aspects suivants.

## Tarifs de stockage

La plupart des déchets sont stockés sur le site du producteur de déchets avant d'être collectés. Les moyens de stockage dépendent du type de déchet et de la quantité produite (bennes, compacteurs, caisses, poubelles à roulettes, etc.) et sont en général loués aux prestataires déchets qui émettent une facture mensuelle (Ademe, n.d.).

## Tarifs de collecte

Les déchets stockés sont enlevés et transportés au centre de traitement par la collectivité ou par un prestataire désigné et rémunéré par elle (dans ce cas les producteurs du déchet paient une taxe / redevance à la municipalité, voir ci-dessous), ou directement par le prestataire en cas de contrat direct avec les entreprises/les ménages (dans ce cas ils paient les frais de collecte directement au prestataire).

## Tarifs de traitement

Les coûts de traitement dépendent principalement du type de traitement mis en œuvre (recyclage, incinération, stockage ultime en décharge), des caractéristiques (p. ex., déchets dangereux ou non) et du tonnage de déchets collectés, mais également de la situation géographique du centre de traitement, des techniques sur les centres de traitement et de la pression concurrentielle régionale ou locale (Ademe, n.d.).

## Taxes

Des taxes ou redevances sont appliquées par les acteurs responsables de la gestion des déchets (généralement des municipalités) et collectées auprès des ménages et entreprises pour la collecte et le traitement des déchets.

D'autres taxes, par exemple sur les activités polluantes peuvent être appliquées aux entreprises, avec pour but d'inciter les producteurs de déchets à orienter ces derniers vers des filières de valorisation matière (Ademe, n.d.).

## Responsabilité élargie du producteur

La REP a pour but de rendre le producteur initial du produit responsable de financer ou d'organiser la prévention et la gestion des déchets issus de ces produits en fin de vie, ce qui l'incite à l'éco-conception de son produit pour réduire ces coûts (Ministère de la Transition écologique français, 2022).

Une éco-contribution permet de financer tout ou partie de gestion des déchets d'une filière REP, elle est généralement versée à un éco-organisme (il ne s'agit donc pas d'une taxe car non versée à l'État).

## Gestion administrative (entreprises)

Tout un ensemble de coûts annexes s'ajoutent au sein des entreprises, tels que des contrôle qualité et audit, le suivi des prestataires et des factures, la gestion des registre déchets et des déclaration annuelle de production et transfert des déchets, la manutention des poubelles et le conditionnement des déchets, l'accueil des transporteurs, etc. (Ademe, n.d.) On peut également ajouter des coûts de formations du personnel aux mesures de sécurité.

## Transport

Les coûts de transports existent à chaque étape de la chaine de gestion des déchets plastiques. On pense notamment aux coûts de transports au niveau de la collecte, mais des coûts de transports sont également à prendre en compte pour les transferts de déchets entre les sites de traitement et d'élimination (voir [section 6.3.1](#) pour plus d'information sur les coûts de transport) et entre les sites de traitement et les producteurs de produits plastiques pour les fractions recyclées.

→ **La connaissance des frais de transport ainsi que des divers frais de traitement/élimination est essentielle pour prendre des décisions d'exploitation.**

## Installation

Les installations de traitement et d'élimination ont des coûts liés notamment : au stockage des déchets qui nécessite de grands espaces ; à la manutention des déchets (achat et entretien de chariots, portes-palettes, etc.) ; aux investissements nécessaires pour le traitement des déchets (achat et entretien de machines, équipements de protection individuelle, etc.) ; à l'approvisionnement en énergie.

## Main d'œuvre

Comprend l'ensemble des coûts des salariés, notamment les travailleurs manuels, d'une entreprise ou industrie.

## Achat de matière plastique

Les sites de traitement et d'incinération rachètent les déchets plastiques soit directement auprès des collecteurs, soit à des grossistes qui jouent le rôle d'intermédiaires.

## Élimination des déchets non recyclables

Les déchets plastiques qui ne peuvent pas être recyclés ni valorisés énergétiquement (appelés « déchets ultimes ») sont envoyés dans des centres de stockage des déchets ultimes qui appliquent des frais d'enfouissement.

### Estimation des coûts de gestion et traitement des déchets dans des villes en développement

L'Agence française de développement a piloté un programme de recherche sur l'organisation de la valorisation des déchets dans les villes en développement (Antananarivo, Bogotá, Delhi, Lima, Lomé et Surabaya) afin de mieux comprendre le modèle économique des filières de valorisation des déchets et d'émettre des recommandations (Agence française de développement, 2018). Cette étude révèle que les coûts de collecte en porte-à-porte et de transport représentent une part importante de l'ensemble des frais liés à la gestion des déchets (voir tableau ci-contre).

Gestion et traitement des déchets	Côût (en €/t)
Collecte en porte-à-porte <sup>1</sup>	11 à 33
Transport (du conteneur à la décharge)	2 à 10
Centre d'enfouissement technique (CET)	1,6 à 8,5
Compostage	5 à 17
Incinération <sup>2</sup> (Delhi, Inde)	27
<i>Indicatif : incinération en Europe</i>	<i>120</i>

<sup>1</sup> La plupart des villes étudiées n'ont pas de collecte en porte-à-porte. L'étape de la précollecte fait alors directement suite à celle du transport.

<sup>2</sup> Ce coût correspond à l'incinérateur de l'entreprise Jindal, qui a un impact environnemental négatif. Les nouveaux incinérateurs delhiotes, plus exigeants quant au respect des normes environnementales, ont un coût de traitement qui s'annonce bien plus élevé (montant non encore connu à ce jour).

Source : Programme ORVA20 (municipalités, 2013-2016)

**Tableau 13** - Estimation des coûts de gestion et traitement des déchets dans des villes en développement

#### Les prix de marché des matières plastiques ne couvrent pas l'ensemble des coûts induits par leur recyclage.

Cet élément peut expliquer les fuites de matières vers les voies concurrentes de traitement (mise en décharge, valorisation énergétique) (Deloitte, 2015).

Les contraintes économiques (coûts de collecte, prétraitement et recyclage plus élevés que les revenus générés des ventes) et logistiques (quantités de déchets générées insuffisantes) concernent essentiellement les déchets postconsommation. Elles sont plus faciles à surmonter pour les déchets de production, où les taux de recyclage sont beaucoup plus élevés que pour les déchets de consommation (UNEP, 2002).

L'équilibre de certaines chaînes de recyclage repose donc sur des financements externes - provenant principalement de l'application du principe de REP qui viennent compenser les coûts (Deloitte, 2015).

Afin d'aider les entrepreneurs à créer une entreprise de recyclage des déchets (notamment DEEE), l'initiative StEP a développé un outil de calcul de plan d'affaires (uniquement disponible en Anglais). L'utilisateur entre un certain nombre de données (p.ex., salaires moyens, prix locaux de l'énergie et

carburant, prix d'achat d'équipements et infrastructures, revenus réalisables ou coûts d'élimination pour chaque fraction de sortie, distances moyennes de transport, taux d'intérêt local et taxes à payer). En fonction des données saisies et des niveaux de démantèlement choisis ainsi que des options en aval, l'outil calcule automatiquement les informations suivantes sur une base annuelle : quantités de fractions de sortie produites ; personnel, investissements et équipements nécessaires ; espace requis pour l'administration, le démontage, le stockage ; revenus et coûts opérationnels attendus ; prévision complète des profits et pertes ; et seuil de rentabilité calculé.

Plus d'information : <https://www.step-initiative.org/business-plan-calculation-tool.html>

### **6.2.2 Recettes**

Les recettes liées à la gestion des déchets couvrent les aspects suivants.

#### **Reprise matière**

Dans le cas d'un traitement par recyclage, les déchets, y compris les plastiques, peuvent générer une recette pour l'entreprise. En général, les tarifs de reprise des matières sont indexés sur des cours publics de la matière qui varient mensuellement.

Attention : même recyclé, un déchet n'est pas rentable pour l'entreprise. La recette du recyclage est 4 à 5 fois inférieure au coût complet du déchet (Ademe, n.d.).

#### **Tarif de collecte**

En fonction du niveau de formalisation du secteur, les collecteurs peuvent être rémunérés par les municipalités qui ont perçues les taxes/redevances de la part des producteurs de déchets ou directement par les entreprises, voir les ménages.

#### **Revente pour traitement**

Les collecteurs revendent les déchets collectés, soit directement aux centres de traitement, soit à des grossistes qui jouent le rôle d'intermédiaires.

#### **Tarif de traitement**

En fonction du système en place, les centres de traitement reçoivent les taxes perçues par les municipalités auprès des producteurs de déchets, ou les contributions directes des entreprises.

## Revente de matière première recyclée

Les centres de traitement revendent les fractions plastiques recyclées (flocons, granulés/pellets) aux producteurs de produits plastiques.

## Valorisation énergétique

Les entreprises d'incinérations revendent l'énergie provenant des déchets incinérés.

## 6.3 Le rôle du transport dans l'économie des déchets plastiques

Le transport des déchets occupe une place importante dans l'économie des déchets plastiques car il intervient à plusieurs étapes de la chaîne de gestion. Le transport est une part importante du coût de gestion des déchets et il est soumis à des règles internationales.

### 6.3.1 Coûts de transport

Au niveau de la collecte, divers facteurs influencent les coûts :

- Faible densité des plastiques
- Taux de participation de la population
- Contexte local (urbain, rural)
- Nombre de conteneurs (dans une collecte en apport volontaire)
- Fréquence des collectes (dans une collecte au porte-à-porte)
- Collecte des plastiques seuls ou des plastiques mélangés à d'autres produits recyclables (dans une collecte au porte-à-porte) (UNEP, 2002)

Les coûts de transports entre les sites de traitement et les fabricants de produits plastiques et entre les sites de traitement et d'élimination dépendent quant à eux principalement du tonnage des fractions plastiques recyclées ou de déchets à transporter et de la situation géographique du receveur. Ils peuvent être importants si celui-ci se trouve à l'étranger.

Les collecteurs et transporteurs accumulent de nombreux frais, ce qui explique les coûts parfois élevés de transports. De façon générale, les frais de transport dépendent des facteurs suivants :

- Prix d'achat du véhicule (moins le montant potentiel de revente)
- Coût annuel de l'entretien et réparations
- Kilomètres parcourus
- Tonnes transportées
- Consommation de carburant



- Prix du carburant
- Vitesse moyenne de transport
- Types de déchets (les déchets dangereux ou liquides requièrent du matériel spécifique)
- Main-d'œuvre (conducteurs)
- Assurances
- Pression concurrentielle régionale ou locale

### 6.3.2 Législation

La **Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination** régule les mouvements transfrontières de déchets dangereux (par exemple les plastiques contenant des POP). Avant d'envoyer des déchets à l'étranger, il est donc primordial de s'assurer que l'envoi est conforme aux conditions formulées dans la Convention, en fonction de la classification du déchet en question (voir [section 4.1](#) pour la classification des déchets plastiques). Il est important de noter que des différences parfois considérables existent entre les définitions et classifications des déchets dangereux de différents pays et régions.

Lorsque le mouvement ne peut être mené à terme conformément aux clauses du contrat, ou en cas de trafic illicite, la Convention prévoit pour les Etats des obligations d'élimination des déchets selon des méthodes écologiquement rationnelle (article 8 et 9.2.b) ou de réimportation (rapatriement) des déchets. Ces obligations s'accompagnent de frais importants à la charge du responsable de l'envoi (exportateur ou importateur).

La **Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause pour certains produits chimiques et pesticides dangereux faisant l'objet du commerce international** (ratifiée en 2004) vise à promouvoir la responsabilité partagée et les efforts de coopération entre les Parties dans le commerce international de certains produits chimiques dangereux afin de protéger la santé humaine et l'environnement contre les dommages potentiels. La Convention contribue également à l'utilisation écologiquement rationnelle de ces produits chimiques dangereux, en facilitant l'échange d'informations sur leurs caractéristiques, en prévoyant un processus décisionnel national sur leur importation et exportation et en diffusant ces décisions aux Parties (Convention de Rotterdam, 1998).

## 6.4 Système de financement du traitement des plastiques

Avant toute mise en œuvre d'un système de gestion des déchets, il est primordial de déterminer le système de financement, en particulier définir ce qui doit être financé, comment, et par qui. Le but est de disposer d'un financement adéquat pour assurer un traitement écologiquement rationnel et mettre en œuvre des activités en aval pour l'ensemble des déchets produits dans le pays au cours d'une période donnée. Idéalement, le système de financement couvre également des activités de soutien plus larges, notamment la surveillance et la mise en œuvre, ainsi que la sensibilisation et la recherche. Le mécanisme par lequel les parties prenantes contribuent financièrement aux différentes activités varie et de nombreux modèles existent. Pour les pays en développement en particulier, les

objectifs du système, les domaines d'intervention et les principes choisis doivent être traduits en une configuration de financement de base qui correspond aux ambitions. Le financement détermine dans une large mesure les responsabilités des parties prenantes concernées aux niveaux local, national, régional et mondial (Goodship et al., 2019).

D'un point de vue général, trois principaux acteurs pourraient assumer la responsabilité financière de la gestion des véhicules en fin de vie (Gregory et al., 2009) :

- **Producteurs** : il s'agit de la mise en œuvre de divers degrés du principe de la responsabilité élargie des producteurs. On peut faire valoir que même si un producteur peut assumer la responsabilité financière « en vertu de la loi », les clients finiront par payer les coûts de fin de vie sous forme d'augmentation du prix du produit, même si aucun frais externe initial n'est payé au moment de la vente.
- **Consommateurs** : cela peut être considéré comme une mise en œuvre du « principe pollueur-payeur », selon lequel le pollueur est reconnu comme la personne responsable de la création du déchet. En pratique, cela consiste à inclure une contribution de recyclage anticipée dans le prix d'achat du produit initial.
- **Toute la société** : comme les plastiques sont un problème de société, ayant un impact non seulement sur les consommateurs mais aussi sur l'ensemble de la population (à la fois en termes d'impacts environnementaux et sociétaux), on peut également affirmer que les systèmes pourraient être financés par l'ensemble de la société (c'est-à-dire par les contribuables) (Gregory et al., 2009).

## Bibliographie

**Ademe, 2019.** Equipements électriques et électroniques. Données 2019. Faits et chiffres. [https://librairie.ademe.fr/cadic/4967/equipements-electriques-electroniques\\_deee\\_donnees2019\\_rapport2021.pdf?modal=false](https://librairie.ademe.fr/cadic/4967/equipements-electriques-electroniques_deee_donnees2019_rapport2021.pdf?modal=false)

**Ademe, n.d.** Combien me coûtent mes déchets ? <https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-cout-dechets/dossier/combien-cootent-dechets/calculer-cout-complet-dechets>

**Afrotribune, 2019.** Coliba : la startup ivoirienne révolutionne le ramassage des déchets plastiques. <https://afrotribune.com/coliba-la-startup-ivoirienne-revolutionne-le-ramassage-des-dechets-plastiques/>

**Afrotribune, 2017.** Coliba, une startup ivoirienne lutte contre les déchets plastique. <https://afrotribune.com/environnement-coliba-lutte-contre-dechets-plastique-dabidjan/>

**Agence française de développement, 2018.** Les déchets, combien ça coûte ? <https://amorce.asso.fr/documents/467/download>

**AIVP, n.d.** <https://www.aivp.ci/l-%C3%A9quipe>

**Alliance To End Plastic Waste, 2021.** Closing the Loop. <https://endplasticwaste.org/fr/our-work/plastic-waste-free-communities/closing-the-loop-asase-foundation>

**Allen, S., Allen, D., Phoenix, V.R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., Binet, S., Galop, D., 2019.** Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat Geosci* 12:339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>

**Amelia, T.S.M., Khalik, W.M.A.W.M., Ong, M.C. et al., 2021.** Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Prog Earth Planet Sci* 8, 12. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4>

**Askin, A., 2020.** Nous avons besoin d'une approche du genre pour lutter contre la pollution des plastiques. WACA Programme de gestion du littoral ouest Africain. <https://www.wacaprogram.org/fr/article/nous-avons-besoin-dune-approche-du-genre-pour-lutter-contre-la-pollution-des-plastiques>

**Atlas du plastique, 2020.** <http://fr.boell.org/fr/atlas-du-plastique>

**Azoulay, D., Villa, P., Arellano, Y., Gordon, M., Moon, D., Miller, K., Thompson, K., 2019.** Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet. CIEL, Earthworks, GAIA, HBBF, IPEN, TEJAS, UPSTREAM, #breakfreefromplastic. <https://www.ciel.org/plasticandhealth/>

**Babayemi, J.O., Nnorom, I.C., Osibanjo, O., Weber, R., 2019.** Ensuring sustainability in plastics use in Africa: consumption, waste generation, and projections. <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-019-0254-5>

**Barrowclough, D., Deere Birkbecj, C., Christen, J., 2020.** Global trade in plastics: insights from the first life-cycle trade database. UNCTAD Research Paper No. 53. UNCTAD/SER.RP/2020/12. [https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2020d12\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ser-rp-2020d12_en.pdf)

**Basel Convention, n.d.** Questions and answers related to the Basel Convention Plastic Waste Amendments.

<http://www.basel.int/Implementation/Plasticwaste/PlasticWasteAmendments/FAQs/tabid/8427/Default.aspx>

**Bill, A., Gasser, M. Haarman, A., Böni, H., 2019.** Processing of WEEE plastics. A practical handbook. Empa, Switzerland. <https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2019/12/Plastic-Handbook-Final.pdf>

**Brisoux, L. et Elgorriaga, P., 2018.** Les enjeux de la gestion des déchets à Abidjan. La vitrine de la Côte d'Ivoire face aux défis de l'insalubrité. <https://documents.plateforme-re-sources.org/wp-content/uploads/2018/07/A283-Gestion-des-dechets-a-Abidjan-comp.pdf>

**CAR/PP, 2004.** Comment introduire dans les industries méditerranéennes : Les meilleures techniques disponibles (MTD), La meilleure pratique environnementale (MPE), Des technologies plus propres (TPP). <http://www.cprac.org/docs/BATfr.pdf>

**Chakraborty, P., Chandra, S., Vågen Dimmen, M., Hurley, R., Mohanty, S., Bharat, G. K., Eirik Hovland Steindal, E., Olsen, M., Nizzetto, L., 2022.** Interlinkage Between Persistent Organic Pollutants and Plastic in the Waste Management System of India: An Overview. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. <https://doi.org/10.1007/s00128-022-03466-x>

**Coliba Africa, n.d.** <https://colibaafrica.com/>

**Combe, M., 2019.** Les microplastiques contaminent (aussi) les sols agricoles ! Natura Sciences. <https://www.natura-sciences.com/comprendre/microplastiques-agriculture-sols-agricoles.html>

**Commission Européenne, 2021.** Pacte vert pour l'Europe : la Commission adopte de nouvelles limites pour certaines des substances chimiques les plus nocives présentes dans les déchets. Communiqué de presse 28 octobre 2021. Bruxelles. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP\\_21\\_5552](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_21_5552)

**Commission Européenne, 2011.** Règlement (UE) No 10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Journal officiel de l'Union européenne L12/1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011R0010&from=EN>

**Convention de Bâle, 1989.** <http://www.basel.int/TheConvention/Overview/tabid/1271/Default.aspx>

**Convention de Stockholm, 2001.**

<http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/tabid/3351/Default.aspx>

**Deloitte, 2015.** La chaîne de valeur du recyclage des plastiques en France : trois grands axes d'actions pour développer la filière. Synthèse. Association Alliance Chimie Recyclage (2ACR), l'ADEME et le Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique. <https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/01-nouveau-portal/etudes-statistiques/etudes/industrie/2015-03-synthese-chaine-valeur-plastiques.pdf>

**Deluzarche, D., 2021.** Combien de fois le plastique peut-il être recyclé ? <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/recyclage-fois-plastique-peut-il-etre-recycle-15650/>

**Diabate, A., Achimi, B., 2020.** Gestion et recyclage de déchets organiques en Côte d'Ivoire. Comoé Capital et GIZ. <http://entrepreneurcorner.org/wp-content/uploads/2020/10/Etude-Sectorielle-Gestion-de-Dechets-Organiques-en-CIV.pdf>

**ECHA, n.d.** Mapping exercise – Plastic additives initiative. <https://echa.europa.eu/fr/mapping-exercise-plastic-additives-initiative>

**Ecologic, n.d.** Que contiennent les Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) ? <https://www.ecologic-france.com/citoyens/que-contiennent-les-deee.html>

**Ecosystem, n.d.** Comment sont dépollués et recyclés vos équipements ? <https://www.ecosystem.eco/fr/article/process-recyclage>

**EFSA, 2016.** Microplastiques et nanoplastiques dans les aliments - une question émergente. <https://www.efsa.europa.eu/fr/news/microplastics-and-nanoplastics-food-emerging-issue#:~:text=L'EFSA%20d%C3%A9finit%20les%20microplastiques,de%201%20%C3%A0%20100%20nanom%C3%A8tres>

**Ehouman, A., 2021.** Plus de 500 tonnes de déchets collectés et recyclés par le projet plastique Nestlé en 2020 à Abidjan. <https://www.aip.ci/cote-divoire-aip-plus-de-500-tonnes-de-dechets-collectes-et-recycles-par-le-projet-plastique-nestle-en-2020-a-abidjan/>

**Evonik, n.d.** We make sense of recycling tires. <https://corporate.evonik.com/en/we-make-sense-of-recycling-tires-115955.html>

**Fondation ASASE, n.d.** CASH IT! Social Enterprise. <https://asasegh.com/explore/project-cash-it/>

**GEF, 2018.** GEF6 CEO Endorsement / Approval Template – August 29, 2018. [https://open.unido.org/api/documents/17392757/download/GEF6\\_CEO\\_Endorsement\\_Cote\\_d\\_Ivoire%20Final%20sd%20190528.pdf](https://open.unido.org/api/documents/17392757/download/GEF6_CEO_Endorsement_Cote_d_Ivoire%20Final%20sd%20190528.pdf)

**General Kinematics, 2022.** Different Plastic Types and How they are Recycled. <https://www.generalkinematics.com/blog/different-types-plastics-recycled/>

**Geyer, R., Jambeck, J. R., Lavender Law, K., 2017.** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 19 July 2017, Vol 3, Issue 7. DOI: 10.1126/sciadv.1700782

**Ghana news Agency, 2021.** Sustain pilot project on collection of waste fishing nets – Researcher. <https://newsghana.com.gh/sustain-pilot-project-on-collection-of-waste-fishing-nets-researcher/>

**GIZ, 2021.** Recycled content in plastic material with focus on PET, HDPE, LDPE, PP. State of play. [https://www.giz.de/de/downloads/2021-06%20Recycled%20Content%20in%20plastic%20material\\_barrierefrei.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/2021-06%20Recycled%20Content%20in%20plastic%20material_barrierefrei.pdf)

**Gouvernement de Côte d'Ivoire, 2014.** Le premier ministre installe la 1<sup>ère</sup> unité de collecte, de tri et de valorisation des déchets plastiques à Attécoubé. [https://www.gouv.ci/\\_actualite-article.php?d=3&recordID=4855&p=201](https://www.gouv.ci/_actualite-article.php?d=3&recordID=4855&p=201)

**Grand View Research, 2020.** Plastic Market. Market analysis 2017 – 2028 Opportunities Beyond COVID-19 Crisis. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-plastics-market>

**GRIPE, 2021.** Processing plant (Cash-It Project). <https://thegripe.org/2021/02/07/processing-plant-cash-it-project/>

**Haarman, A., Gasser, M., 2016.** Managing hazardous additives in WEEE plastic from the Indian informal sector A study on applicable identification & separation methods. [https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2016/07/Haarman\\_2016\\_SRI-India.pdf](https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2016/07/Haarman_2016_SRI-India.pdf)

**Hanna, K., 2022.** War in Ukraine deals another blow to resin prices. <https://www.plasticsmachinerymanufacturing.com/manufacturing/article/21259423/war-in-ukraine-deals-another-blow-to-resin-prices>

**Henryot, F., 2021.** RECYPLAST lance PLASTOCK, l'application mobile écocitoyenne de valorisation des déchets plastiques. <https://www.babigreen.com/post/recyplast-lance-plastock-l-application-mobile-%C3%A9cocitoyenne-de-valorisation-des-d%C3%A9chets-plastiques>

**IFEN, 2022.** Tout savoir sur le recyclage du plastique. <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/tout-savoir-recyclage-du-plastique> et <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/innovation-et-industrie/nos-expertises/climat-environnement-et-economie-circulaire/recyclage-des-plastiques>

**ILO, 2019.** Le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques. Document d'orientation – Forum de dialogue mondial sur le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques (Genève, 9-11 avril 2019). GDFEEW/2019.

[https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_dialogue/---sector/documents/publication/wcms\\_673664.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_673664.pdf)

**Indra, 2019.** Le recyclage automobile. <https://www.indra.fr/fr/activites-france/le-recyclage>

**INRS, 2019.** Classification des matières plastiques Version 2 [https://www.inrs.fr/dms/plastiques/DocumentCompagnonPlastiques/PLASTIQUES\\_DocCompagnon\\_8-1/2%20classificaitaion%20avril%202019.pdf](https://www.inrs.fr/dms/plastiques/DocumentCompagnonPlastiques/PLASTIQUES_DocCompagnon_8-1/2%20classificaitaion%20avril%202019.pdf)

**Isobe, A., et. al., 2021.** A multilevel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes. <https://microplastics.springeropen.com/articles/10.1186/s43591-021-00013-z>

**IUCN, 2021.** Marine plastic pollution. <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/marine-plastic-pollution>

**Jacque, M., 2020.** La crise du plastique en dix graphiques. <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/la-crise-du-plastique-en-dix-graphiques-1181798#:~:text=Sur%20plus%20de%20400%20millions,des%20emballages%20%C3%A0%20usage%20unique.>

**Jambeck, J., et. Al., 2018.** Challenges and emerging solutions to the land-based plastic waste issue in Africa. Marine Policy Volume 96, October 2018, Pages 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.041>

**Kunststoff Information, 2022.** <https://www.kiweb.de/>

**Landolsi M. W., 2017.** Classification des polymères plastiques. <https://conceptec.net/fr/techniques-de-base/materiaux/polymeres-plastiques/classification-des-polymeres#:~:text=On%20trouve%20parmi%20ces%20mati%C3%A8res,aminoplastes%2C%20ph%C3%A9noplastes%20et%20polyesters%20insatur%C3%A9s>

**Larousse, n.d.** Matière plastique. [https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/mati%C3%A8re\\_plastique/80411#:~:text=Le%20terme%20de%20plastique%20technique,des%20applications%20de%20haute%20performance.](https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/mati%C3%A8re_plastique/80411#:~:text=Le%20terme%20de%20plastique%20technique,des%20applications%20de%20haute%20performance.)

**Magoum, I., 2021.** Côte d'Ivoire : AIVP dote trois banlieues d'Abidjan d'unités de collecte de plastique. <https://www.afrik21.africa/cote-divoire-aivp-dote-trois-banlieues-dabidjan-dunités-de-collecte-du-plastique/>

**Marchés Africains, 2022.** Rwanda : Start-up fabrique des chaussures avec des pneus recyclés.. <https://mercadosafricanos.com/fr/Une-start-up-rwandaise-fabrique-des-chaussures-avec-des-pneus-recycl%C3%A9s/>

**MEDDE - METEL, 2012.** Circulaire du 30 novembre 2012 relative à la gestion des plastiques issus des déchets d'équipements électriques et électroniques NOR : DEVP1238608C (Texte non paru au Journal officiel). Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie et Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement. [https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0026376/met\\_20120024\\_0100\\_0037.pdf;jsessionid=E0682EEEEED722699140C58AFC5967C23](https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0026376/met_20120024_0100_0037.pdf;jsessionid=E0682EEEEED722699140C58AFC5967C23)

**Meijer, L.J.J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., Lebreton, L., 2021.** More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci Adv* 7:eaaz5803. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5803>

**Mehlhart, G., Möck, A., Goldmann, D., 2018.** Effects on ELV waste management as a consequence of the decisions from the Stockholm Convention on decaBDE. Oeko-Institut e.V. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/ACEA-DecaBDE-final-report.pdf>

**Mer & océan, 2021.** Les femmes surexposées au plastique. <https://www.mer-ocean.com/les-femmes-surexposees-au-plastique/>

**Ministère de l'Assainissement et de la Salubrité, 2022.** Message du Gouvernement à l'occasion de la célébration de la journée mondiale du recyclage / 18 mars 2022. <https://www.gouv.ci/doc/1647869934MESSAGE-DU-GOUVERNEMENT-A-L-OCCASION-DE-LA-CELEBRATION-DE-LA-JOURNEE-MONDIALE-DU-RECYCLAGE-18-MARS-2022.pdf>

**Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017.** Les polluants organiques persistants. [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/15207-1\\_Polluants-organiques-persistants-POP\\_DEF\\_Web.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/15207-1_Polluants-organiques-persistants-POP_DEF_Web.pdf)

**Ministère de la Transition écologique français, 2022.** Cadre général des filières à responsabilité élargie des producteurs. <https://www.ecologie.gouv.fr/cadre-general-des-filieres-responsabilite-elargie-des-producteurs>

**National geographic, 2018.** Microplastiques : quels risques pour la santé ? <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/2018/06/microplastiques-quels-risques-pour-la-sante>

**National geographic, n.d.** Le plastique en 10 chiffres. <https://www.nationalgeographic.fr/le-plastique-en-10-chiffres>

**OECD, 2022.** Global Plastics Outlook. Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>

**ONU DI, 2022.** Responsabilité élargie du producteur pour les véhicules hors d'usage et les DEEE en Côte d'Ivoire. Analyse de la chaîne de valeur des voitures particulières et des équipements électriques et électroniques en Côte d'Ivoire.



**ONUUDI, 2021.** Étude sur le système de financement des DEEE et VFV en Côte d'Ivoire. Méthodologie d'application d'un système de responsabilité élargie des producteurs. Project uPOPCI

**ONUUDI, 2021 (bis).** Directives techniques sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets d'équipements électriques et électroniques en Côte d'Ivoire. <https://www.upopci.org/publications>

**ONUUDI, 2021 (ter).** Directives techniques sur la gestion écologiquement rationnelle des véhicules en fin de vie en Côte d'Ivoire. <https://www.upopci.org/publications>

**Paprec, 2020.** Recyclage des déchets plastiques : tout comprendre. <https://www.paprec.com/fr/comprendre-le-recyclage/tout-savoir-sur-les-matieres-recyclables/plastiques/>

**Parisot, F., 2015.** Recycler tous les plastiques, c'est possible <https://www.usinenouvelle.com/article/recycler-tous-les-plastiques-c-est-possible.N321797>

**Parker, L., 2019.** The world's plastic pollution crisis explained. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/plastic-pollution>

**PetrescoZim, n.d.** <https://www.petresco.co.zw/>

**Plastics Europe, 2022.** Recycling technologies. <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/>

**Plastics Europe, 2021.** Plastics - the Facts 2021. An analysis of European plastics production, demand and waste data. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>

**PNUE, 2002.** Directives techniques pour l'identification et la gestion écologiquement rationnelle des déchets plastiques et leur élimination. Conférence des Parties à la convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination. Sixième réunion Genève, 9-13 décembre 2002. UNEP/CHW.6/21. <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalMatters/DevelopmentofTechnicalGuidelines/TechnicalGuidelines/tabid/8025/Default.aspx>

**PolyCE project, 2021.** <https://www.polyce-project.eu/results/>

**Polyloop, 2020.** Filtration des gaz Pour le recyclage du plastique. Polytech Paris Saclay et M. & Mme Recyclage. [https://m-mme-recyclage.com/assets/filtration-des-gaz-recyclage-plastique\\_rapport\\_v4.pdf](https://m-mme-recyclage.com/assets/filtration-des-gaz-recyclage-plastique_rapport_v4.pdf)

**Polyvia, 2022.** Prix du plastique : les prévisions pour 2022. <https://www.polyvia.fr/fr/prix-du-plastique-les-previsions-pour-2022>

**Polyvia, 2021.** Polymères : le point sur les Forces Majeures et les maintenances. <https://www.polyvia.fr/fr/economie/polymeres-le-point-sur-les-forces-majeures-et-les-maintenances>

**Présidence de la République de Côte d'Ivoire, 2017.** Décret n° 2017-692 d11 25 octobre 2017 portant création, attributions, organisation et fonctionnement de l'établissement public à caractère industriel et commercial, dénommé Agence nationale de Gestion des Déchets (ANAGED). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/lvc176854.pdf>

**Présidence de la République de Côte d'Ivoire, 2013.** Décret n° 2013-327 du 22 Mai 2013 portant l'interdiction de la production, de l'importation, de la commercialisation, de la détention et de l'utilisation des sachets plastiques. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/IVC132141.pdf>

**Protégez-vous (2020).** Les 7 familles de plastique. <https://www.protegez-vous.ca/sante-et-alimentation/numeros-plastique>

**RECORD, 2010.** Identification des limitations techniques et environnementales du recyclage matière des déchets (hors BTP). 126 p. n°08-0910/1A. [https://record-net.org/storage/etudes/08-0910-1A/rapport/Rapport\\_record08-0910\\_1A.pdf](https://record-net.org/storage/etudes/08-0910-1A/rapport/Rapport_record08-0910_1A.pdf)

**Recyplast n.d.** <https://recyplast.ci/>

**Renovables Verdes, n.d.** Types de plastiques. [https://www.renovablesverdes.com/fr/tipos-de-plasticos/#Otros\\_tipos\\_de\\_plasticos](https://www.renovablesverdes.com/fr/tipos-de-plasticos/#Otros_tipos_de_plasticos).

**Richel, A., 2020.** Le recyclage des matières plastiques : enjeu économique ou mirage environnemental ? <http://www.chem4us.be/environnement/recyclage/?print=pdf>

**Roméo, L., 2021.** L'exportation des déchets plastiques, une autre menace pour les océans. RFI. <https://www.rfi.fr/fr/science/20210608-l-exportation-des-d%C3%A9chets-plastiques-une-autre-menace-pour-les-oc%C3%A9ans>

**Rovinaru, F. I., Rovinaru, M. D., Rus, A. V. 2019.** The Economic and Ecological Impacts of Dismantling End-of-Life Vehicles in Romania. Sustainability 2019, 11(22), 6446. <https://doi.org/10.3390/su11226446>

**Sakshi, K.S., 2021.** Freetown Waste Management Recycle: Transforming waste tyres into rubber tiles since its conception in 2020. <https://www.theglobaleconomics.com/2021/11/08/freetown-waste-management/>

**SafePlanet, 2021.** Keeping plastic fishing nets out of our oceans. <https://www.youtube.com/watch?v=TbtSavW12lg>

**Sea2see, n.d.** <https://www.sea2see.org/>

**SEPA, 2020.** International waste shipments guidance on the Basel Convention amendments on plastic waste. [https://www.sepa.org.uk/media/539014/basel\\_convention\\_amends\\_plastic\\_waste.pdf](https://www.sepa.org.uk/media/539014/basel_convention_amends_plastic_waste.pdf)

**Sherman, L. M., 2019.** 2019 Ends with Lower Prices for Commodity Resins. <https://www.ptonline.com/articles/2019-ends-with-lower-prices-for-commodity-resins>

**Slow Cosmétique, n.d.** Microplastiques dans les cosmétiques, pourquoi les éviter ? <https://www.slow-cosmetique.com/le-mag/microplastiques-dans-les-cosmetiques-pourquoi-les-eviter/>

**SLRecycling, 2022.** What Plastics Can and Cannot be Recycled? <https://www.slrecyclingltd.co.uk/what-plastics-can-and-cannot-be-recycled/#:~:text=The%20difference%20in%20the%20recyclability,%2Dmelted%20and%20re%2Dmolded>

**Sodiaplast, n.d.** <https://www.sodiaplast.com/WEB/ACCUEIL>

**Sofies, 2019.** Study on the Impacts of Brominated Flame Retardants on the Recycling of WEEE plastics in Europe. <https://www.bsef.com/wp-content/uploads/2020/11/Study-on-the-impact-of-Brominated-Flame-Retardants-BFRs-on-WEEE-plastics-recycling-by-Sofies-Nov-2020.pdf>

**Spiegato, 2022.** Qu'est-ce que le compoundage plastique ? <https://spiegato.com/fr/quest-ce-que-le-compoundage-plastique>

**Sprecher, L., 2018.** Côte-d'Ivoire : Coliba, la startup qui entend valoriser la gestion des déchets plastiques. <https://www.mediaterre.org/actu,20181003145047,5.html>

**Summit Packaging, 2021.** Plastic Resin Prices 2021 - Resin Shortage & Cost of Plastic Explained. <https://summitpackaging.com/plastic-resin-prices-2021-resin-shortage/>

**Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L. and Bergmann, M., 2022.** Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems. 1–221. WWF Germany, Berlin. Doi: 10.5281/zenodo.5898684

**The Pew Charitable Trusts and Systemiq, 2020.** Breaking the Plastic Wave. A comprehensive assessment of pathways towards stopping ocean plastic pollution. The Pew Charitable Trusts and Systemiq. [https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2020/07/23/breaking-the-plastic-wave-top-findings?utm\\_campaign=conservation\\_pop\\_oceans\\_\\_\\_\\_\\_&utm\\_source=twitter\\_environment&utm\\_medium=social&utm\\_content=article\\_newplanworks\\_\\_\\_\\_statementtile\\_&utm\\_term=\\_\\_\\_](https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2020/07/23/breaking-the-plastic-wave-top-findings?utm_campaign=conservation_pop_oceans_____&utm_source=twitter_environment&utm_medium=social&utm_content=article_newplanworks____statementtile_&utm_term=___)

**Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., et al (2004)** Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304:838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

**Tiseo, I., 2021.** Global plastic waste production breakdown 2018 by sector. <https://www.statista.com/statistics/1166582/global-plastic-waste-generation-by-sector/>

**UNEP, 2012.** Texte du Protocole Additionnel à la Convention d'Abidjan relatif à la coopération en matière de protection et de mise en valeur du milieu marin et côtier de la région de l'Afrique Occidentale, Centrale et Australe contre la pollution due aux sources et activités terrestres. Adopté le 22 juin 2012 à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). [http://abidjanconvention.org/themes/critai/documents/meetings/plenipotentiaries/working\\_documents/fr/Protocole%20LBSA%20\(22%20juin%202012\).pdf](http://abidjanconvention.org/themes/critai/documents/meetings/plenipotentiaries/working_documents/fr/Protocole%20LBSA%20(22%20juin%202012).pdf)

**UNEP et Convention de Stockholm Convention, 2017.** Guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and disposal of articles containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention, updated January 2017. <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/t/abid/3172/Default.aspx>.

**UNICEF, 2021.** En côte d'Ivoire, des écoles pour une éducation dans les meilleures conditions. <https://www.unicef.fr/article/en-cote-d-ivoire-du-plastique-recycle-pour-construire-des-ecoles>

**UNICEF, 2019a.** Côte d'Ivoire : l'UNICEF pose la première pierre d'une usine de briques en plastique recyclé, unique en son genre en Afrique. <https://www.unicef.org/fr/communiqu%C3%A9s-de-presse/c%C3%B4te-divoire-lunicef-pose-la-premi%C3%A8re-pierre-dune-usine-de-briques>

**UNICEF, 2019b.** Ces briques en plastique qui changent la vie des enfants en Côte d'Ivoire. <https://www.unicef.fr/article/ces-briques-en-plastique-qui-changent-la-vie-des-enfants-en-cote-d-ivoire>

**US EPA, 2009.** Persistent Organic Pollutants: A Global Issue, A Global Response. <https://www.epa.gov/international-cooperation/persistent-organic-pollutants-global-issue-global-response#affect>

**Uzuri K&Y, n.d.** <https://www.uzuriky.com/>

**Wansi, B. I., 2022.** AFRICA: Uzuri K&Y to produce its eco-friendly shoes in South Africa and Tanzania. <https://www.afrik21.africa/en/africa-uzuri-ky-to-produce-its-eco-friendly-shoes-in-south-africa-and-tanzania/>

**WCO, 2020.** Nouvelle réglementation internationale sur l'importation et l'exportation de déchets plastiques, en vigueur le 1er janvier 2021. <http://www.wcoomd.org/fr/media/newsroom/2020/december/new-international-rules-for-import-and-export-of-plastic-waste-come-into-effect-on-1-january-2021.aspx?p=1>

**Weinberg, J., n.d.** Un guide pour les ONG sur les Polluants Organiques Persistants Un Cadre d'Action pour Protéger la Santé Humaine et l'Environnement des Polluants Organiques Persistants (POP). [https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo\\_guide\\_pops-fr.pdf](https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-fr.pdf)

**Zakarya, D., Touré, S., 2018.** Rapport de mission. PROJET GESTION DES uPOP.

# Annexe 1 – Classification des matières plastiques thermoplastiques et thermodurcissables

## LES THERMOPLASTIQUES

Les thermoplastiques sont des composés dont la structure et la viscosité peuvent être modifiés par chauffage et refroidissement successifs, de façon réversible.

### POLYOLEFINES

- Polyéthylène (PE)
  - Polyéthylènes basse densité (PEbd)
  - Polyéthylènes haute densité (PEhd)
- Copolymères éthylène/acétate de vinyle (EVA)
- Polypropylène (PP)

### POLYVINyliQUES

- Polychlorure de vinyle (PVC)
- Polyalcool vinylique (PVAL)
- Poly-acétate de vinyle (PVAC)
- Polychlorure de vinylidène (PVDC)
- Polybutyral, ou polyformal, vinylique (PVB)

### POLYSTYRENIQUES

- Polystyrène (PS) - standard, cristal, choc, chaleur, expansé
- Copolymères styréniques (SAN, ABS, MBS, SBS ou SIS) sont des améliorations physiques et chimiques du polystyrène

### POLYACRYLIQUES ET POLYMETHACRYLIQUES

- Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)
- Polyacrylonitrile (PAN)

### POLYAMIDES

Les polyamides (PA) se distinguent par le nombre de carbones compris dans leurs monomères, que désigne le chiffre qui suit leurs différentes abréviations (PA 6, PA 11, PA 12, etc.).

### POLYCARBONATES (PC)

Obtenus à partir de diphénylolpropane ou de bisphénol A

### CELLULOSIQUES

- Acétate de cellulose (CA)
- Nitrate de cellulose (CN)

### POLYESTERS LINEAIRES

Synthétisés à partir d'éthylène-glycol ou de butylène-glycol.

- Polyéthylène téréphtalate (PETP ou PET)
- Polybutylène téréphtalate (PBTB)
- Polytétraméthylène (PTMT)

### POLYFLUORETHENES

- Polytétrafluoréthène (PTFE)
- Polychlorotrifluoréthylène (PCTFE)
- Polyfluorure de vinylidène (PVDF)

### POLYACETALS

Le polyoxyméthylène (POM) et ses copolymères associés sont seuls au sein de la famille des polyacétals.

### POLYSULFONES

Macromolécules contenant du dioxyde de soufre, comme le Sulfover ou le Surfil (noms commerciaux).

### POLYSULFURE DE PHENYLENE

### POLYOXYPHENYLENE MODIFIE (PPO)

## LES THERMODURCISSABLES

Les plastiques thermodurcissables sont des composés qui, au moment de la polycondensation (et/ou de la mise en œuvre), sous l'action du catalyseur ou de la hausse de température, voit leurs résines se transformer en objets finis infusibles et insolubles. Il ne sera pas possible de modifier de nouveau leurs structures, leurs formes ou leur rigidité après la fabrication du plastique.

### POLYURETHANNES (PUR)

### POLYORANOLSILOXANES

Également appelés silicones.

### POLYESTERS INSATURES

### PHENOPLASTES

Les résines phénoplastes les plus courantes sont appelées phénol-formol (PF).

### AMINOPLASTES

Différents aminoplastes tels que l'urée-formol (UF) ou la mélamine-formol (MF).

### POLY-EPOXYDES

### POLYIMIDES

Figure 41 - Classification des matières plastiques thermoplastiques et thermodurcissables (élaboration UNITAR à partir de Paprec, 2020)

## Annexe 2 – POP associés par types de plastiques et principaux secteurs contributeurs

Plastic type	Principaux secteurs contributeurs	Possible POP
<p>Polyéthylène haute densité (PEHD)</p> <p>Polychlorure de vinyle (PVC)</p> <p>Polyéthylène réticulé (XLPE)</p>	<p>Déchets de décharge</p> <p>Déchets EEE</p> <p>Déchets biomédicaux</p> <p>Déchets marins</p> <p>Déchets industriels</p>	<p>Polybromodiphényléthers (PBDE)</p> <p>Substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS/PFOS - de l'anglais polyfluorinated alkyl substances)</p> <p>Pesticides organochlorés (OCP - de l'anglais organochlorine pesticides)</p> <p>Polychlorodibenzo-p-dioxines/Polychlorodibenzo-furanes (PCDD/PCDF)</p> <p>Paraffines chlorées à chaîne courte (SCCP – de l'anglais short chain chlorinated parafns)</p> <p>Polychlorobiphényle (PCB)</p>
<p>Polyéthylène basse densité (PEBD)</p>	<p>Déchets de décharge</p> <p>Déchets biomédicaux</p> <p>Déchets marins</p> <p>Déchets industriels</p>	<p>OCP</p> <p>PCDD/PCDF</p> <p>SCCP</p>
<p>Polychlorure de vinyle (PVC)</p>	<p>Déchets de décharge</p> <p>Déchets EEE</p>	<p>PBDE,</p> <p>PFAS/PFOS</p>

	Déchets biomédicaux Déchets industriels	PCDD/PCDF PCB
Polystyrène (PS) Polystyrène expansé (EPS) Polystyrène choc (HIPS)	Déchets EEE Déchets marins Déchets industriels	PBDE, PFAS/PFOS PCDD/PCDF
Polyéthylène téréphtalate (PET)	Déchets biomédicaux Déchets marins	PBDE, PCDD/PCDF PCB
Polypropylène (PP) Polychlorure de vinyle (PVC)	Déchets biomédicaux Déchets marins	OCP PCDD/PCDF SCCP
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS) Polycarbonate (PC) et ses mélanges Autres plastiques	DEEE Déchets industriels	PBDE, PFAS/PFOS PCDD/PCDF

**Tableau 14** - POP associés à différents types de plastiques et principaux secteurs contributeurs (élaboration UNITAR à partir de Chakraborty et. al., 2022)



## Annexe 3 – Techniques de séparation et d'identification des plastiques

Le tableau ci-dessous donne une vue d'ensemble des différentes techniques de séparation et d'identification disponibles et de certaines de leurs caractéristiques.

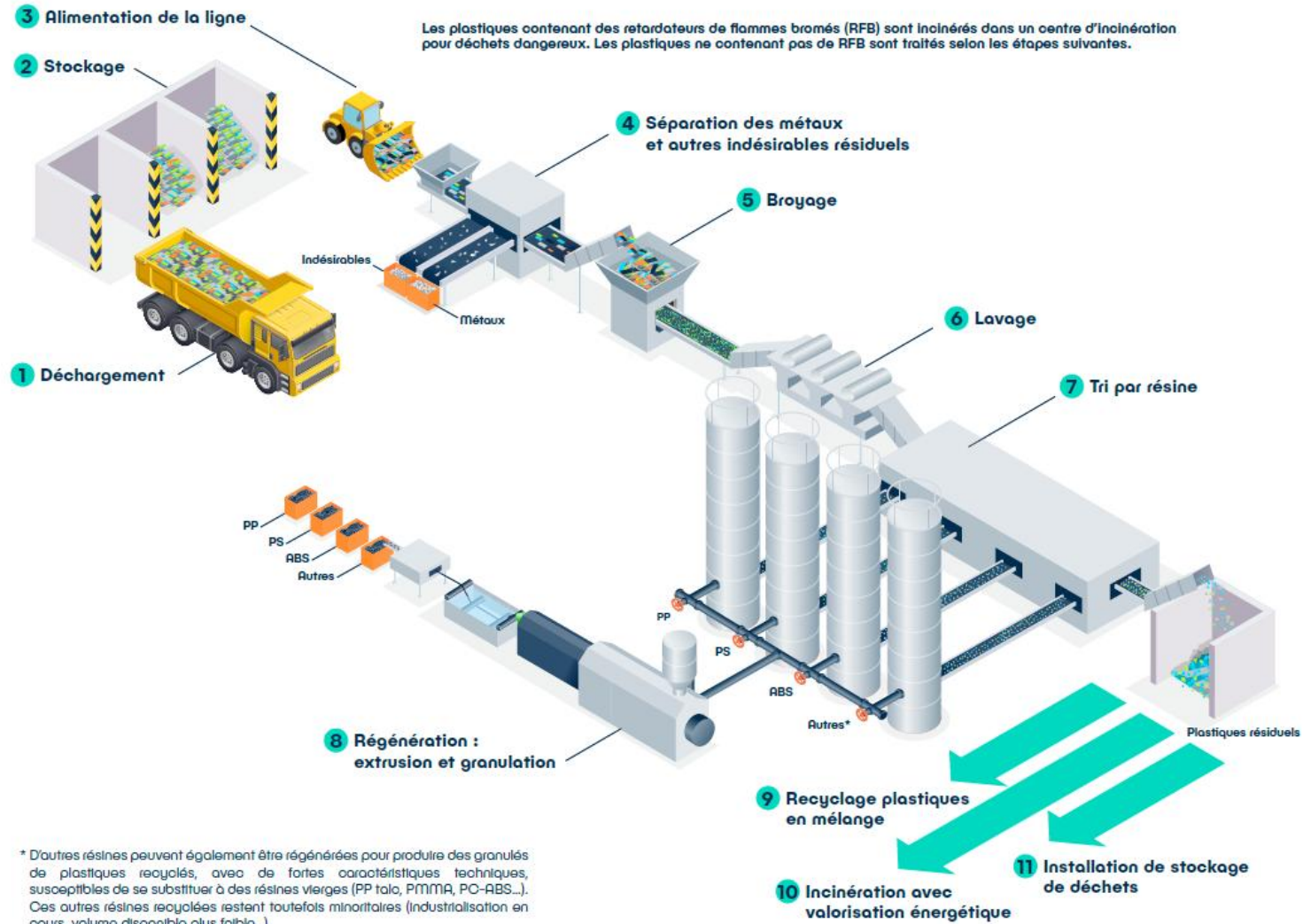
Procédure	Principe	Efficienc
Séparation hydrogravimétrique	Séparation spécifique par gravité	La séparation de seulement deux ou trois plastiques est efficace ; effet de séparation faible ; les charges perturbent le processus
Séparation centrifuge	Séparation spécifique par gravité	Pureté entre 95% et 99,9%
Flottation	Ajout sélectif de bulles d'air dans les milieux aqueux	Ajout des réactifs nécessaires, faible efficacité, les additifs et les charges perturbent le processus
Séparation par flottation en utilisant des dépresseurs sélectifs <sup>6</sup>	Quatre plastiques, les PVC, PC, POM et PPE, peuvent être séparés en utilisant des agents courants d'humification, comme le lignosulfonate de sodium, l'acide tannique, l'aérosol OT et le saponin	Pureté entre 87 et 90%
Séparation électrostatique	Utilisation d'une charge électrostatique dans des champs électriques pour séparer le PVC et le PE des fils et des câbles	Pureté supérieure à 90 %, processus perturbé par les contaminants
Spectroscopie dans l'infrarouge moyen	Onze catégories de plastiques, les PE, PP, PVC, ABS, PC, PA, PBT, PPE et EPDM, sont	Bonne identification des plastiques techniques, mais une longue préparation de

	distingués. Spectroscopie par réflexion 2.5-50µm, stimulation d'oscillations groupées	l'échantillon est requise. En outre, processus non automatique, qui prend du temps (>20s/analyse)
Spectrométrie dans l'infrarouge proche	Séparation du PET, PVC, PP, PE et PS (spectroscopie par réflexion 800-2500 nm, stimulation d'oscillations harmoniques et oscillations combinées)	Bonne identification des plastiques d'emballage, le processus est perturbé par les charges (suie), les revêtements de surface, la géométrie de l'échantillon ; cette technique ne permet pas d'identifier les polymères noirs et les additifs
Spectroscopie plasma induite par laser, complétée par la spectrométrie dans l'infrarouge proche	Cette technique consiste à focaliser un faisceau laser à pulsion sur les plastiques, ce qui produit un flash en raison de la forte densité. L'impulsion génère un plasma à forte densité dans lequel tous les éléments atomiques du volume visé sont excités	
Spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)		Fonctionne sur tous les plastiques, mais de longs temps de mesure sont nécessaires pour les plastiques noirs en raison de la préparation et de la mesure de l'échantillon
Spectrométrie UVVisible (UV-Vis)	Spectrométrie par réflexion de 200-400nm, stimulation des vibrations atomiques et des transitions d'électrons	Faible efficacité pour l'identification des polymères, forte influence des additifs (teintures) difficile à automatiser
Spectroscopie par excitation des photoélectrons	Séparation des PET, PVC, PP, PE et PS. Spectroscopie d'émission atomique, laser	Faible efficacité pour l'identification des polymères, identification des mélanges

Fluorescence X	<p>plasma/réaction à l'impulsion thermique/thermographie IR</p> <p>Présence d'éléments indiqués par des spectres de rayons X utilisés comme méthode d'excitation</p>	<p>hétéroatomiques, automatisable en principe</p> <p>Faible identification des polymères, identification des éléments, difficile à automatiser, efficace seulement pour la séparation des PVC des plastiques PETE</p>
Balayage optique	Utilisé comme méthode d'excitation Inspection optique à l'aide d'une machine de vision avec photodiode ou dispositifs de transfert de charge	Utile pour le tri des plastiques en fonction de leur transparence et de leur couleur, mais ne permet pas l'identification chimique des polymères
Spectrométrie de masse	Détection par la spectrométrie de masse des produits pyrolytiques	Demande beaucoup de temps (>- 1 minute), faible effet de séparation, difficile à automatiser
Séparation électrostatistique	<p>Séparation des PVC, des fils et des câbles,</p> <p>Séparation des PVC et des PET des déchets de bouteilles</p>	

**Tableau 15** - Description des techniques de séparation et d'identification des plastiques (PNUE, 2002)

## Annexe 4 – Recyclage mécanique du plastique



### 1 Déchargement

Les plastiques sont déchargés dans des zones dédiées.

### 2 Stockage

Les plastiques sont stockés dans l'attente de leur traitement.

### 3 Alimentation de la ligne

La ligne est alimentée en fonction des volumes à traiter

### 4 Séparation des métaux et autres indésirables résiduels

Différentes solutions techniques (Overband, courants de Foucault, flottaison...) permettent d'extraire les métaux ferreux et non ferreux et autres indésirables résiduels afin d'obtenir une fraction plastique pure.

### 5 Broyage

Les plastiques sont ensuite broyés pour être réduits en fractions de tailles adaptées aux solutions de tri en aval.

### 6 Lavage

Les plastiques sont ensuite lavés pour retirer les derniers résidus (poussières, étiquettes, mousses...).

### 7 Tri par résine

Les différentes technologies ci-dessous peuvent être combinées pour trier les plastiques en familles de résines :

- **Tri optique** : détection via des instruments d'optique (infrarouge, rayons X...) des différents types de plastique.
- **Triboélectricité** : séparation combinant un chargement électrostatique superficiel des fractions par frottement et un champ électrique de forte puissance.
- **Flottaison** : séparation des fractions basée sur la différence de la masse volumique des fractions par rapport à la masse volumique du liquide dans lequel elles sont submergées. Les fractions qui flottent ont une masse volumique inférieure à celle du liquide.

### 8 Régénération : extrusion et granulation

Les plastiques lavés et triés par résine sont traités par lot de résines similaires. Ces lots sont homogénéisés, fondus, extrudés en fil puis découpés pour produire de petits granulés (compounds) qui seront ensuite utilisés dans diverses applications de plasturgie. A cette étape, il est possible d'ajouter divers additifs pour conférer aux granulés recyclés certaines caractéristiques techniques ou visuelles nécessaires à leurs futures applications.

### 9 Recyclage plastiques en mélange

Ces résines en mélange seront à leur tour traitées et séparées par d'autres acteurs. Certaines résines peuvent parfois être recyclées ensemble (dans certains cas par ajout de compatibilisant) pour produire des plastiques recyclés aux caractéristiques techniques souvent faibles.

### 10 Incinération avec valorisation énergétique

### 11 Installation de stockage de déchets

Toutes les fractions extraites bénéficient de traitements spécifiques ultérieurs suivant trois possibilités :

- recyclage pour produire de nouvelles matières (solution privilégiée),
- valorisation énergétique ou valorisation matière,
- élimination en respect des réglementations.

Figure 42 - Traitement spécifique des résines plastiques en mélange par recyclage mécanique (© Ecosystem, n.d.)